自动武器设计原理

下册

Э. А. 戈洛夫著

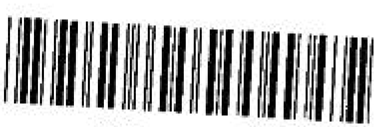


国防工业出版社

自动武器設計原理

下册

Э. А. 戈洛夫著
馬宗明譯、刘学昌校





國防工業出版社

内容簡介

本書是Э. А. 戈洛夫著［自动武器設計原理］的續篇，書中探討了一些自动武器理論研究方面的新問題，最后并列举了計算两种自动武器之自动机的实例。本書可供从事自动武器設計研究的工程技术人員閱讀，也可供有关大專教师学生参考。

苏联 Э. А. Горов著 Основания проектирования автоматического оружия（Москва 1955年）

*

国防工業出版社

北京市書刊出版业营业許可証出字第074号

机械工业出版社印刷厂印刷　新华書店發行

*

850×1168 1/32　印張 5 5/61　134千字

1958年12月第一版

1958年12月第一次印刷

印数：0,001—4,200冊　定价：(11) 1.10元

№ 2537　統一書号15034·272

目　录

序言……………………………………………………………………… 4
第一章　自动机工作与弹性緩冲器工作的相互影响……………… 5
§ 1　自动武器緩冲器的工作特性……………………………………… 5
§ 2　自动武器緩冲器工作的近似研究法………………………………28
§ 3　武器緩冲对自动机工作的影响……………………………………47
第二章　自动武器的射击稳定性………………………………………53
§ 1　射击时武器稳定性的概念…………………………………………53
§ 2　自动机各部分的撞击对射击时自动武器稳定性的影响…………55
§ 3　自动机各部分的平稳运动对射击时自动武器的稳定性的影响…76
§ 4　射击时手提式武器稳定性計算示例………………………………88
第三章　自动机計算示例………………………………………………99
§ 1　导气式自动机的計算（德普式）……………………………… 100
§ 2　枪管后座式自动机的計算（MG-42）………………………… 118

序　言

本書的各章是“自动武器設計原理”教程（1954年版，Э.А.戈洛夫）的补充。

第一章是討論与設計自动武器緩冲器以及与研究緩冲器工作和自动机工作相互影响有关的各种問題。

第二章是研究考慮到自动机工作的影响时有关保証自动武器在射击时的稳定性的一些基本問題。

这两章所叙述的都是自动武器理論研究方面的一些比較新的問題，所以說單独出版这一本書是合适的。

在第三章中列举了利用自动武器設計原理一書中的基本理論計算两种类型的自动武器的自动机的例題。

本書中所叙述的許多問題还处在研究阶段，因此，不能苛求本書內容所討論的結論皆是全面而完备的。

作者以感謝的心情接受对本書內容及講述方法所提出的全部意見。

第一章　自动机工作与彈性緩冲器工作的相互影响

§1　自动武器緩冲器的工作特性

1　武器緩冲器的作用原理

口徑比較大的武器（大口徑机槍和自动炮的出現）的自动化大大地增强了減小后座对槍架或槍座的作用的意义。

为了減小后座作用，目前广泛地应用了各种不同的緩冲装置，这些緩冲装置能够使武器在射击时沿槍膛軸綫方向移动。

通常由彈性元件（彈簧）組成的緩冲装置是武器本身不可缺少的一部分并与武器同时設計。

緩冲装置或緩冲器通常对自动机的工作有很大的影响，而自动机的工作也决定着武器在緩冲时的运动。因此，对自动武器自动机的工作和緩冲器的工作必須同时加以研究。

利用自动机計算法可以研究自动机工作和緩冲器工作的相互影响。

利用这些方法能够确定緩冲器工作时武器的运动規律。由此，可以評价所取的緩冲器特征数是否适宜并对这些特征数做适当的修正之后可以获得最有利的緩冲器工作条件和自动机工作条件。

評价自动武器緩冲器的有利性时应該考虑到緩冲器工作对射击精度的影响，对自动机工作可靠性的影响和对射击时武器操作方便的影响。

为了获得良好的射击精度，对緩冲器应該提出下列要求：保証后座沿槍膛軸綫的方向；減小后座定向滑板的間隙；消除武器在后座和复进时对槍架或槍座的撞击；保証槍架或槍座有良好的

稳定性能和减小槍架的变形，因槍架的变形会使武器偏离所賦与的射向。

設有緩冲器的現代槍架或槍座有定向装置，因此，武器的后座方能沿槍膛軸綫的方向进行。

减小定向滑板的間隙通常是通过确定适当的配合和应用各种补偿器的方法来达成。减小定向滑板間隙对射击精度的影响是利用增大定向板和某些結构元件之間的距离的方法来获得。

消除在后座和复进时武器对槍架或槍座的撞击通过下述方法来达成：选擇合适的緩冲器特征数，設置専用的緩冲垫以及对緩冲器的工作和自动机的工作加以特殊配合而使武器复进击發。

槍架或槍座的稳定性取决于作用于其上的緩冲器后座力的大小和变化情形；选擇适当的緩冲器工作特征数可以保証稳定性。

上面已講过，在評价緩冲器的工作时，除保証良好的武器射击精度外，还必須考虑到保証自动机工作的可靠性以及射击时武器操作的方便。

为了保証彈鏈供彈机构的可靠性，通常必須使整个武器的后座量不超过所規定的范圍并且使整个武器在最小的加速度情况下运动。当武器的后座量很大时，带动彈鏈是很困难的，并且不能保証供彈机构可靠地工作。

考虑武器操作方便的要求通常归結于限制武器后座量，因为后座量不很大的时候便于利用瞄准装置和發射机构。

評价自动武器緩冲器工作时，还必須考虑到緩冲器工作循环时間，該时間在連發射击时不应該大于自动机工作循环时間。

自动武器緩冲器工作条件影响着武器的运动以及作用于槍座上的作用力的变化性質。

評价緩冲器工作时武器的运动和作用于槍座上的作用力的变化性質的时候，主要应該考虑最大的后座長度，作用于槍座上的最大作用力和緩冲器工作循环时間。

緩冲器工作的这三个基本特征数是互相关連的。緩冲器最有

利的工作条件通常决定于它們之間最有利的配合。

为了从原理方面說明緩冲器工作的这些特征数的相互影响，我們来研究一个最簡單的武器緩冲略圖(圖 1)，圖上所示的是与彈性体相連接的物体的平移和直綫运动，在該物体上作用着冲量負荷。該略圖相当于非自动武器的緩冲，幷假設与緩冲器相連接的武器本身振动周期比作用于槍膛底部上的火藥气体压力增長时間大得多。

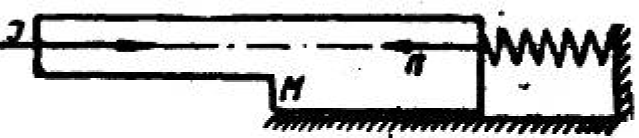


圖 1 后座时非自动武器运动略圖。

就圖 1 中所示的略圖来講，可以得出确定后座时間，后座長度和后座开始时的最大速度之間的簡單公式。

实际上，如果后座时武器压縮緩冲器彈簧，那么，后座时間可以根据下一公式求出：

$$t_{OT}=\frac{1}{p}\left(\frac{\pi}{2}-\arcsin\frac{f_1}{f_2}\right), \qquad (1)$$

式中 f_1 和 f_2——緩冲器彈簧預压度和終压度；

p——与緩冲器相連接的武器的自由振动頻率。

如果用 $\frac{f_1}{f_2}=a$ 表示压縮度之比，則后一公式可写为：

$$t_{OT}=\frac{1}{p}\left(\frac{\pi}{2}-\arcsin a\right)。 \qquad (2)$$

此公式中的自由振动圓周頻率 p 可以初速 V_0 和整个后座長 λ 来表示，因为

$$\frac{MV_0^2}{2}=\frac{\eta\lambda(2f_1+\lambda)}{2},$$

但

$$p^2=\frac{\eta}{M},$$

因而，

$$\frac{1}{p^2}=\frac{\lambda(2f_1+\lambda)}{V_0^2}=\frac{\lambda^2}{V_0^2}\frac{(1+a)}{(1-a)}, \qquad (3)$$

式中 M——后座部分質量；

V_0——后座部分的初速。

把后一公式代入公式（2），則得:

$$t_{от}=\frac{\lambda}{V_0}\sqrt{\frac{1+a}{1-a}}\left(\frac{\pi}{2}-\arcsin a\right)。\qquad (4)$$

这一公式又可以写成

$$t_{от}=\Phi\frac{\lambda}{V_0},\qquad (5)$$

式中 $$\Phi=\sqrt{\frac{1+a}{1-a}}\left(\frac{\pi}{2}-\arcsin a\right)。$$

系数 Φ 的值仅取决于緩冲器彈簧的預压度和終压度，亦即取决于 a 值之大小。

如果 $a=\frac{1}{2}$，

则 $$\Phi=\sqrt{3}\left(\frac{\pi}{2}-\arcsin\frac{1}{2}\right)=1.81。$$

如果緩冲器工作时彈簧沒有預压，那么 $f_1=0$ 和 $a=0$。在这种情况下，

$$\Phi=\frac{\pi}{2}=1.57。$$

如果緩冲器的阻力是一常量，那么对于彈簧緩冲器来講，这将符合于当彈簧預压度非常大并且預压度和終压度之比等于1 $\left(\frac{f_1}{f_2}=1\right)$，亦即 $a=1$ 时的情况。

当 a 等于此值时，Φ 的公式不定，因为分子 $\frac{\pi}{2}-\arcsin 1$ 和分母 $\sqrt{1-a}$ 皆等于零。

解此不定式，则得：

$$\lim_{a\to 1}\frac{\frac{\pi}{2}-\arcsin a}{\sqrt{1-a}}=\frac{\left(\frac{\pi}{2}-\arcsin\right)'(a)}{(\sqrt{1-a})'(a)}=\frac{2\sqrt{1-a}}{\sqrt{1-a^2}}。$$

因而，当 $a=1$ 时

$$\Phi=\frac{2\sqrt{1+a}\sqrt{1-a}}{\sqrt{1-a^2}}=2。$$

关系式 $\Phi=f(a)$ 示于圖2。利用求系数 Φ 的关系式和公式（5），便可以对各种不同的彈簧緩冲器工作条件求出确定緩冲器工作的各基本参量之比，即 V_0；λ 和 t 的值。

为了求出作用于槍座上的最大力，可以利用下一公式：

$$\Pi = f_2 \eta,$$

式中　η——緩冲器彈簧剛度系数。

該式可以化成下一形式

$$\Pi = \frac{\eta\lambda}{1-a}。$$

但，前面求得的$\frac{1}{p^2}$公式的形式是：

$$\frac{1}{p^2} = \frac{M}{\eta} = \frac{\lambda^2}{V_0^2} \frac{1+a}{1-a},$$

由此

$$\frac{\eta\lambda}{1-a} = \frac{MV_0^2}{\lambda(1+a)}。 \quad (6)$$

利用后一等式，则得：

$$\Pi = \frac{MV_0^2}{\lambda(1+a)} = \frac{I^2}{M\lambda(1+a)}, \quad (7)$$

式中　I——产生后座的冲量。

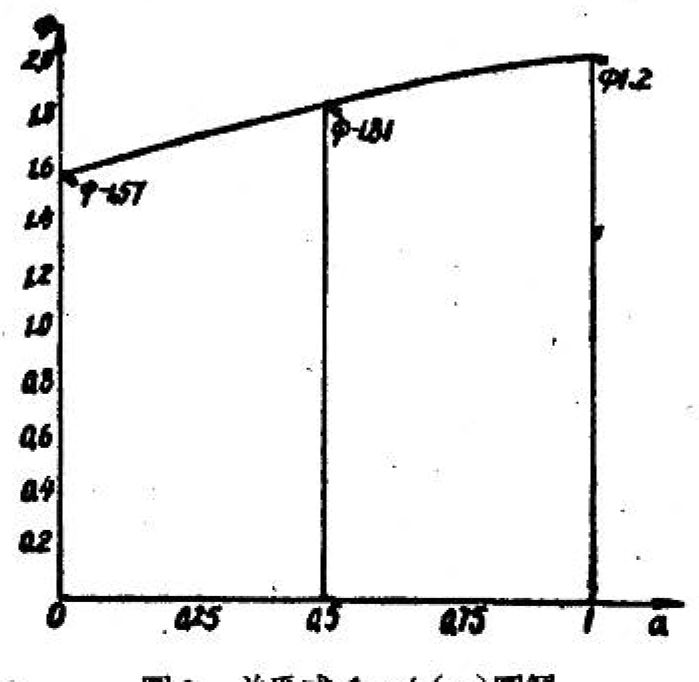


圖 2　关系式 $\Phi = f(a)$ 圖解。

后一公式表示出力 Π 与緩冲器彈簧預压度和終压度之比 a，后座長度 λ 和后座部分質量 M 的关系。

为了求出作用在槍座上的最大力与后座时間和緩冲器彈簧預

压度和終压度之比的关系，可利用公式（5）幷对速度求解之后，代入公式（7）。

进行了这些演算之后，则得：

$$\Pi = \Phi \frac{l}{t_{OT}(1+a)}。 \quad (8)$$

此公式說明了作用在槍座上的最大力与后座时間的关系。

应該指出，公式（8）在原則上与公式（7）是沒有区别的，因为后座时間与武器質量和后座長度有下面的簡單关系：

$$t_{OT} = \Phi \frac{\lambda}{V_0} = \Phi \frac{\lambda M}{MV_0} = \Phi \frac{\lambda M}{l} \quad (9)$$

从所得的公式中可得出結論：如果后座長不变，則变更緩冲器彈簧的剛度和預压度，后座时間只在不大的范圍变化；如果后座时間不变，則彈簧剛度和預压度变更时后座長亦在不大范圍內变化。

同样可以确定，当后座时間不变时，后座阻力变化愈小，后座長就愈小。

利用所求得的公式能够对比作用在槍座上的緩冲器彈簧最大力。显然，当后座阻力一定时（各种不同的后座長情况下）作用在槍座上的最大力比之当阻力做直綫变化时（后座开始时此阻力等于零）作用在槍架上的最大力小二分之一。还可以指出，当后座时間不变时对于这两种極限情况下緩冲器彈簧力变化来講，作用在槍架上的最大力之比等于$\frac{\pi}{2}$。

所进行的研究表明，最好选擇这样的緩冲器彈簧特征数，即使 a 值接近于1，也就是后座时阻力变化較小。这只能通过增大彈簧預压力和減小彈簧剛度系数来达成。然而，这必然会使彈簧的尺寸增大，幷使得緩冲器的配合条件变坏。因此，在設計緩冲器彈簧的实踐过程中，通常选擇彈簧預压度是从便于装配和結合这些彈簧出發的。

所有求得的关系式都关系着武器的后座。如果除了緩冲器彈簧彈力外，在緩冲器工作时沒有其他任何力作用在武器上，那么研

究复进时武器的运动同后座时一样。同时，后座时間等于武器的复进时間●。

在另种情况下，即除了緩冲器的彈簧力外，尚有某些常阻力时，則对武器运动的研究原則上与上述无区别。因为考慮到常阻力时只是影响引入計算公式中的緩冲器彈簧預压度的大小和比值。在这种情况下复进时間大于后座时間。

如果用$\frac{t_{от}}{t_{ам}}=b$表示后座时間与緩冲器工作的全时間之比，那么各种阻力愈大（緩冲器彈簧力除外）該值就愈小。b值的減小，也就是后座时間的減小必然会导致作用在槍架或槍座上的力增大。

因此，为了減小这些力，除了緩冲器彈簧力外最好消除各种阻力。但同时应該考慮到減小各种阻力与增大复进結束时武器的动量是相关联的。如果不采取措施来防止撞击的話，則武器复进到位时会产生大的撞击。

設置專用的前方緩冲垫或采用武器复进击發，可消除武器复进到位时的撞击。后一种方法通常是一种減小后座作用的非常有效的办法。

我們来闡明一下，应用复进击發減小武器后座作用之效果。通常，闡明复进击發效果时利用比較武器自由后座能量的方法，从而得出应用复进击發时的自由后座能量与沒有应用复进击發时的武器自由后座能量比較时的最大可能的減小量（四分之三）。

在減小作用于槍座上的作用力方面的武器复进击發效果，不考慮緩冲器工作时間可以用公式（7）表示

$$П=\frac{I^2}{M\lambda(1+a)}。\tag{10}$$

在最有效的复进击發时，后座开始时作用在武器上的冲量減小二分之一。因而，当M，λ，a量不变时$П$力減小四分之三。

利用公式（9），可以說明，在这种情况下，緩冲器工作时

● 如果不考慮緩冲器彈簧变形时机械能的損失。

間增加一倍。

为了判断一下当緩冲器工作时間不变时的复进击發效果，应該利用公式（8）

$$\Pi = \Phi \frac{I}{t_{oT}(1+a)}。 \quad (11)$$

公式（11）表明，当冲量 I 减小二分之一时，a 值不变則作用于槍座上的力減小二分之一。同时后座量也減小二分之一。后一种情况可以根据公式（10）来証明，从公式中可以得出結論：当冲量 I 和力 Π 各減小二分之一时（M 和 a 值不变）后座量也減小二分之一。因此，应用武器复进击發在該种情况作用于槍座上的力与沒有复进击發时作用力相比較时仅減小二分之一。同时，后座長也減小二分之一。

上述关于武器复进击發效果的見解在評价自动武器复进击發适用性时是有很大的意义的。因为自动武器緩冲器工作循环时間是受自动机工作循环的时間限制的，而自动武器后座長与自动机工作可靠性有关。

在圖3的圖解上表明作用于槍座上力的变化和以时間为函数的武器座标。（a）表示武器不复进击發时緩冲器工作的情况，（$в$）表示武器复进击發而后座長不变时緩冲器工作的情况，（$б$）表示緩冲器工作时間不变的情况。圖解中条綫面积以某一定比例尺代表發射时作用于武器上的冲量。此冲量作用的瞬間在圖解上以点 i 表示之。

圖解（圖3）說明了应用复进击發来減小武器后座对槍座的作用的实質并說明了在有武器复进击發和沒有武器复进击發的条件下緩冲器工作时作用于槍座上的力的变化情形。特别是，这些圖解也說明了，复进击發时，后座对槍座的作用是在發射前开始的（武器复进击發开始时）。

所討論的最簡單的緩冲器工作圖和所得出的关系式符合于非自动武器緩冲器的作用和那些自动机工作对緩冲器工作沒有很大影响的自动武器緩冲器的作用。

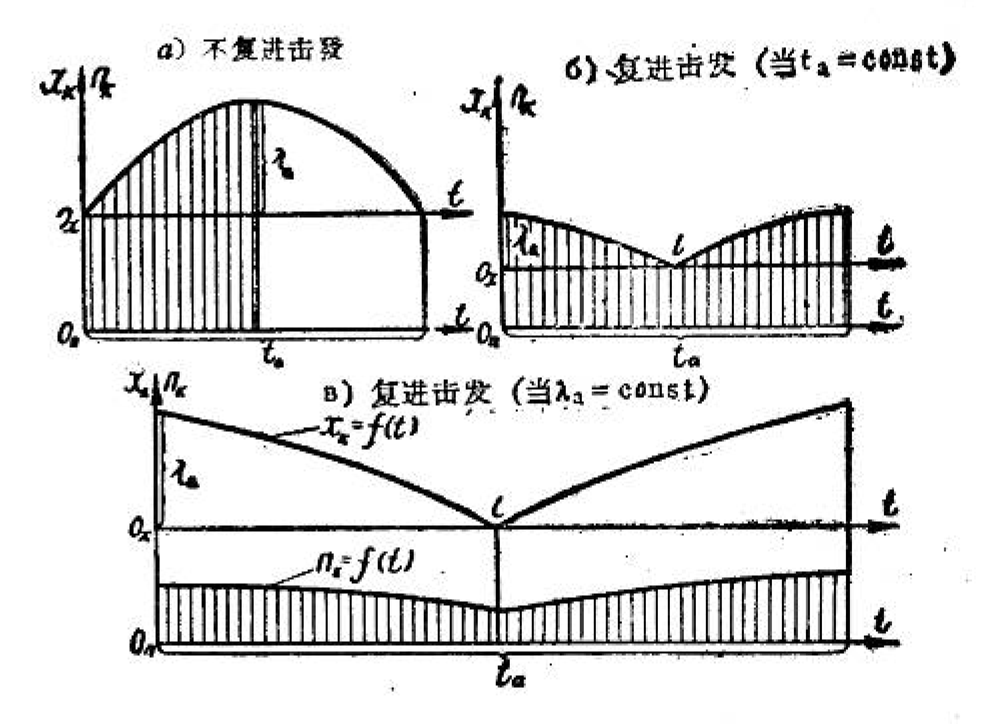


圖 3 說明作用于輪座上的力 $П_к$ 的变化以及以时間为函数的武器座标 $x_к$ 之圖解。

由于自动机工作对緩冲器工作有頗大的影响，因此，步兵自动武器緩冲器工作不可能完全表示于所研究的略圖中。这一略圖和所求得的关系式在研究自动武器緩冲器的工作时仅用来説明自动武器緩冲器工作的个别阶段和用来説明某些原则情况和質量特征数。

自动武器緩冲器工作时出現了应用武器复进击發的新的可能性，这种可能性不会使緩冲器的工作产生若干严重的缺点（有迟發的危險，不發火后必需調整緩冲器彈簧，發射前后座对槍架作用，这种作用使第一次發射精度变坏等）。

2 自动武器的緩冲

我們来討論一下自动武器緩冲器的工作特点和在这种情况下应用武器复进击發的特点。

在考虑緩冲器工作与自动机工作的关系时，为了确定緩冲器工作对自动机工作的影响我們研究一下在剛性固定的情况下和在

各种不同的緩冲条件的情况下武器自动机的工作。为了研究方便起見，我們取經过若干簡化的导气式自动机工作为例。

我們把所研究的武器的自动机的工作分为以下几个主要时期:

1）槍机与槍机框联接之前槍机框的运动（槍机框的自由行程）;

2）槍机框同槍机一起向最后方位置运动;

3）槍机框与槍机一同复进。

所研究的自动机工作情况的原理圖示于圖4中。在所研究的每一个自动机工作时期内槍机框和槍机位移特征数之数值示于圖中（圖5）。

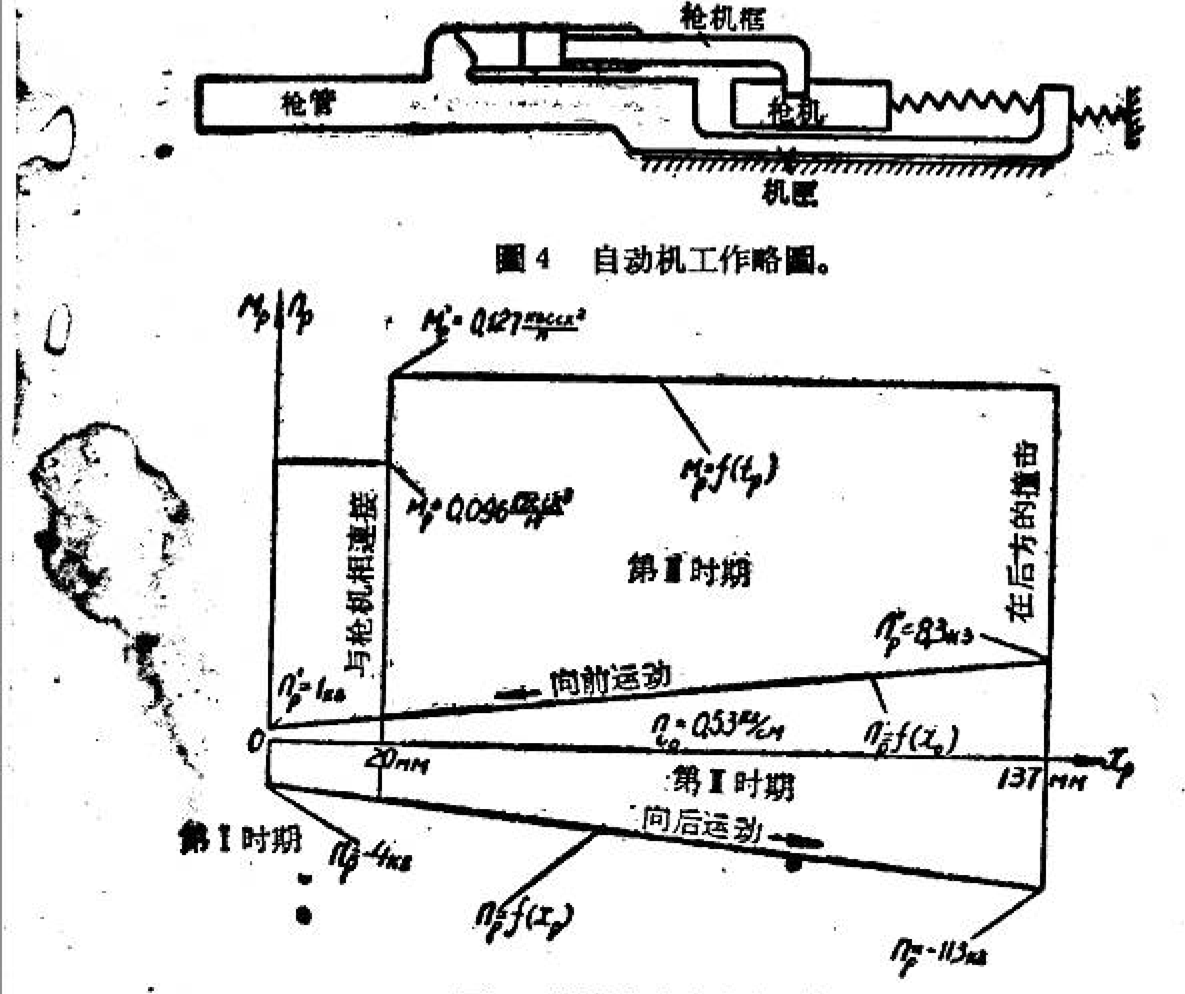


圖4　自动机工作略圖。

圖5　質量和力的变化圖解。

取槍机框和槍机的質量等于

$$M_p = 0.096 \frac{кг/сек^2}{м}$$

$$M_з = 0.031 \frac{кг/сек^2}{м}$$

复进簧工作圖解示于圖 6 中。

我們假設，在第二时期开始之前槍机框的速度为 $V_p = 4.54$ $м/сек$，槍机框运动时間为 $t_p = 0.0045$ $сек$。

为了确定槍机框在第二和第三时期內位移和速度关系所必需的圖解示于圖 7 中。

圖 8 中所示的是根据对槍机框和槍机在整个自动机工作时期內的运动的圖解研究所作的圖解 $x_p = f(t)$。圖解时假設在最后一个时期內（槍机閉鎖后）槍机框与槍机一起运动并且槍机閉鎖影响未加考慮。

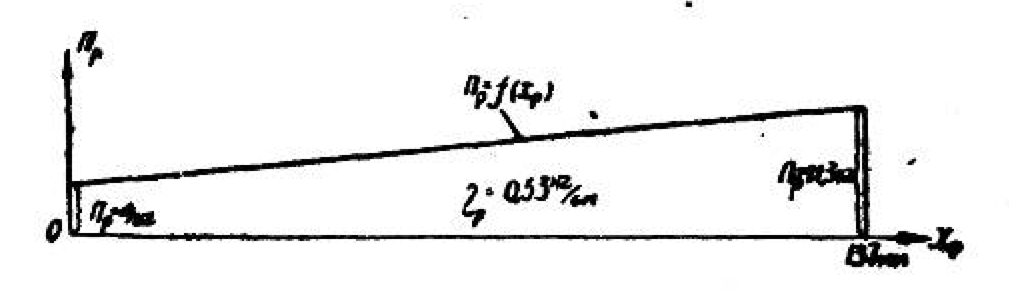


圖 6　复进簧工作圖。

在最显著的特征瞬間內自动机工作研究結果載于表中。

自动机工作的特征瞬間	槍机框座标 x_p ($мм$)	槍机框速度 V_p ($м/сек$)	运动时間 t ($сек$)
槍机框在最前方位置	0	0	0
与槍机相联接	20	6/4.54❶	0.0046
槍机框在最后方位置	137	2.33/−0.93❶	0.036
槍机框在最前方位置	0	−3.33	0.089

表中所列的各量中間值可以直接从圖（圖 7）中求出。

❶ 分子表示撞击前的速度，分母表示撞击后的速度。

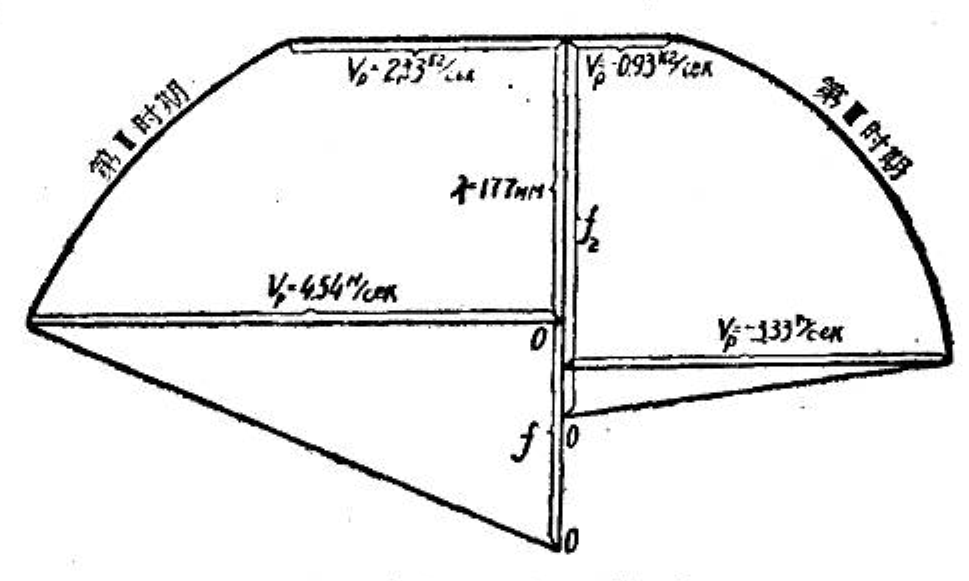


圖7　槍机框运动的圖解研究。

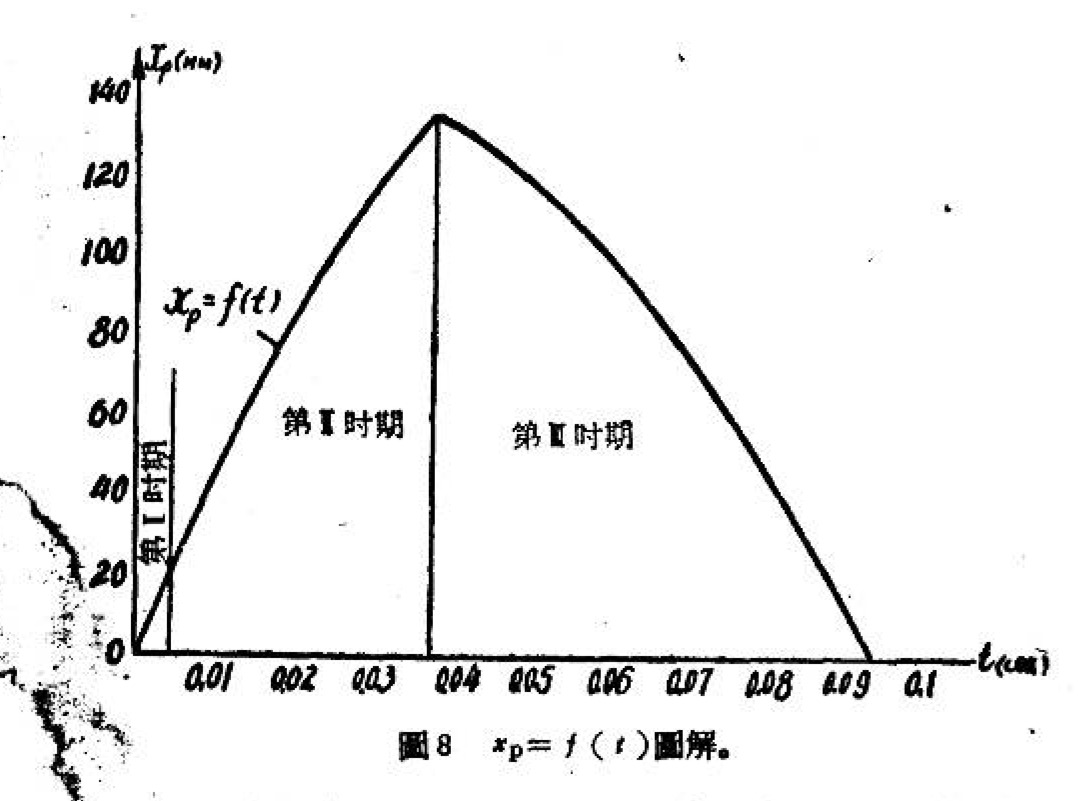


圖8　$x_p=f(t)$圖解。

为了对比起見，列出根据同样数据所做的自动机类似計算，但考慮到整个武器的緩冲。

这种情况与所討論的情况的区别在于，这里在發射时不仅槍机框同槍机可以移动，并且整个武器同槍架的某些連接件也可以移动，而压縮緩冲器彈簧。

假設，包括槍架連接零件質量，但不包括槍机框和槍机質量的武器質量为：

$$M_{\kappa} = 1 \frac{\kappa z \cdot ce\kappa^2}{м}$$

彈簧緩冲器工作以圖 9 中所示的圖解表示之。

我們还假設，整个武器的向前运动受槍架的某些元件限制，因緩冲器彈簧工作时有一定的預压量。

为了研究自动机各部分的运动和整个武器（机匣）的运动，在这种情况下我們利用上面对自动机工作时期所作的划分，再补充一个自动机工作开始前緩冲器压縮期，亦卽火藥气体对槍机框活塞作用开始前緩冲器压縮期。

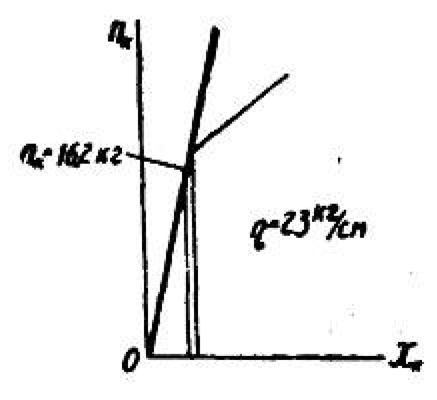


圖 9　緩冲器彈簧工作圖。

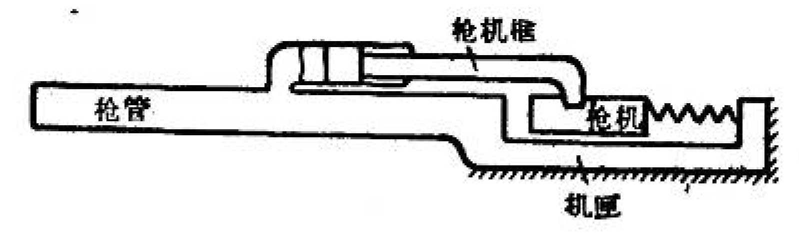


圖10　机匣和自动机各部的运动略圖。

圖 10 所示的是在所研究的情况下武器机匣运动和自动机各部分运动的原理圖。圖 11 和 12 所示的是运动的圖解研究，而圖13所示的是說明机匣和自动机各部分隨时間变化的位移圖解。圖14所示的是說明緩冲器彈簧預压量变化 $y = f(t)$ 和武器机匣位移 $x_{\kappa} = f(t)$ 的圖解。

下表（見20頁）中所列的是在自动机各主要特征瞬間，机槍槍机框和机匣的位移座标及其速度。

将自动武器緩冲器工作研究結果与非自动武器緩冲器工作研究結果加以比較，便可發現它們之間有很大的区别。

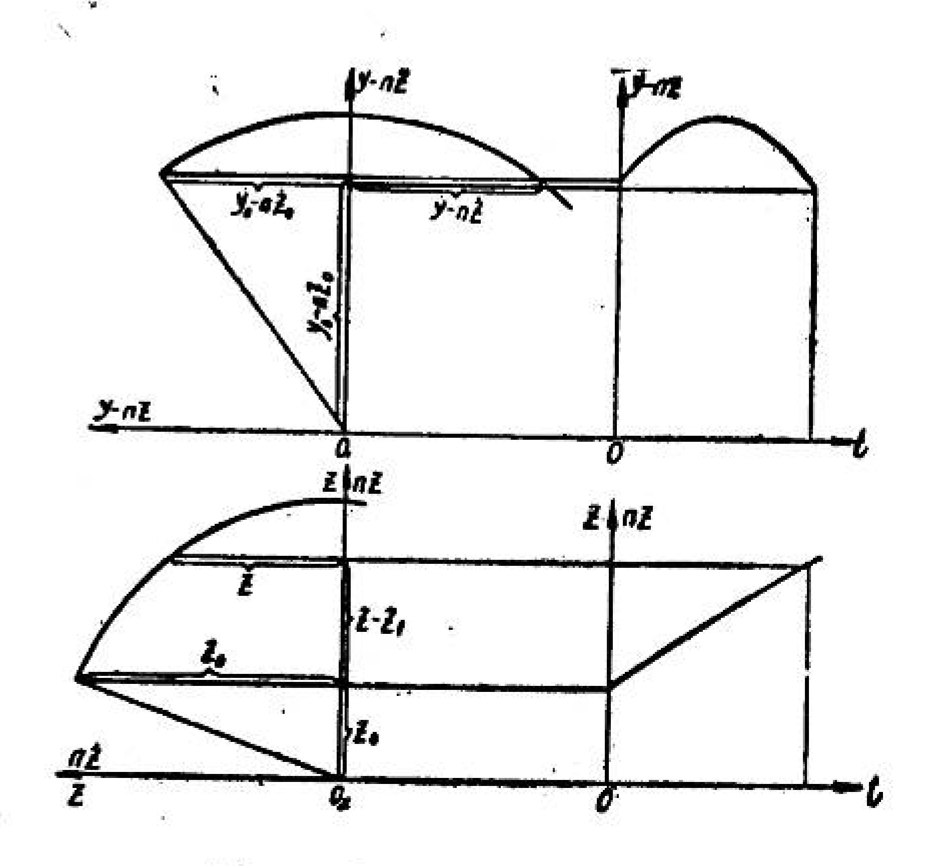


圖11 运动圖解研究（第Ⅱ时期）.

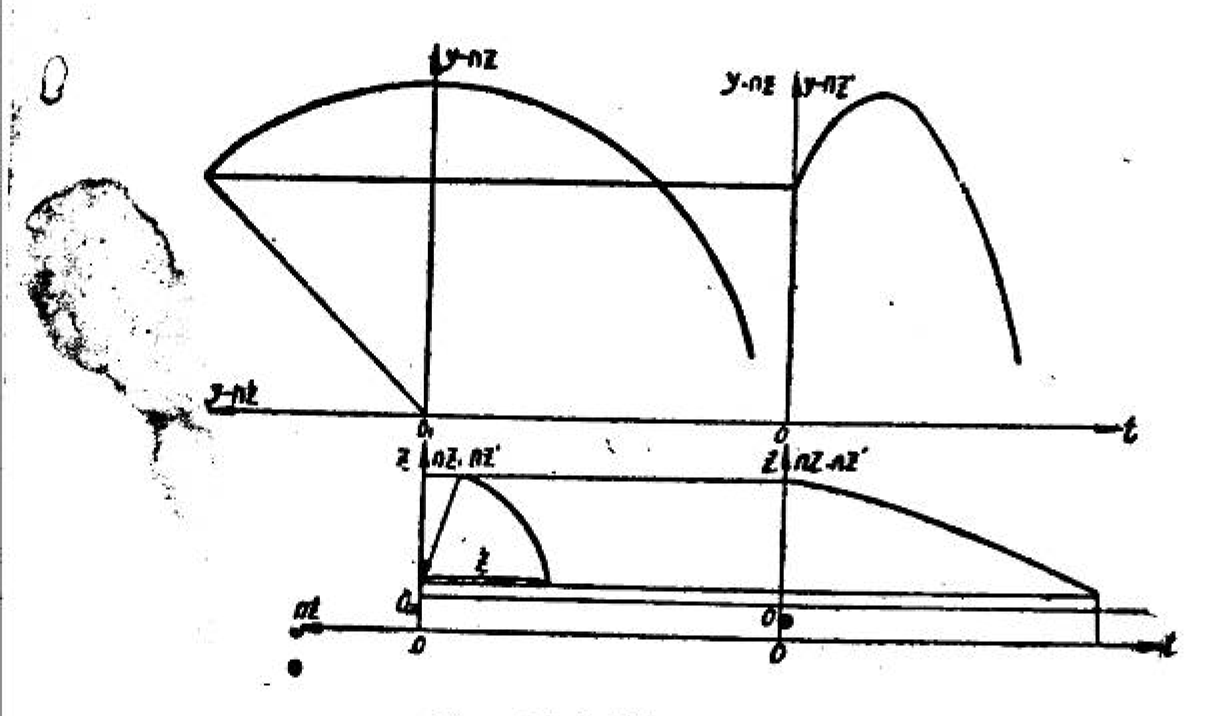


圖12 运动圖解研究（第Ⅲ时期）.

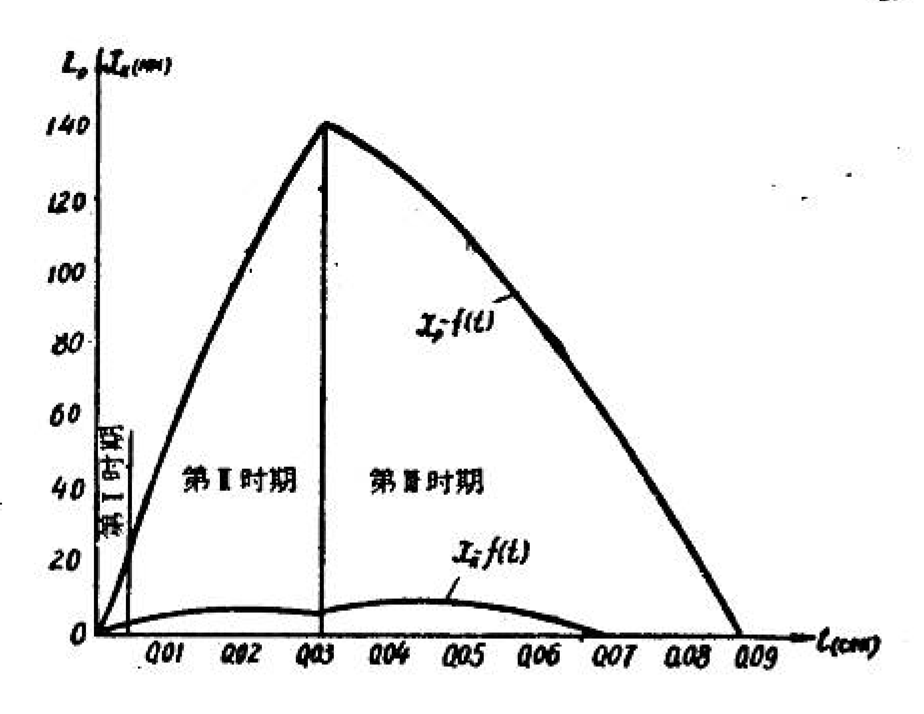


圖13 $x_K = f(t)$和$x_p = f(t)$的圖解。

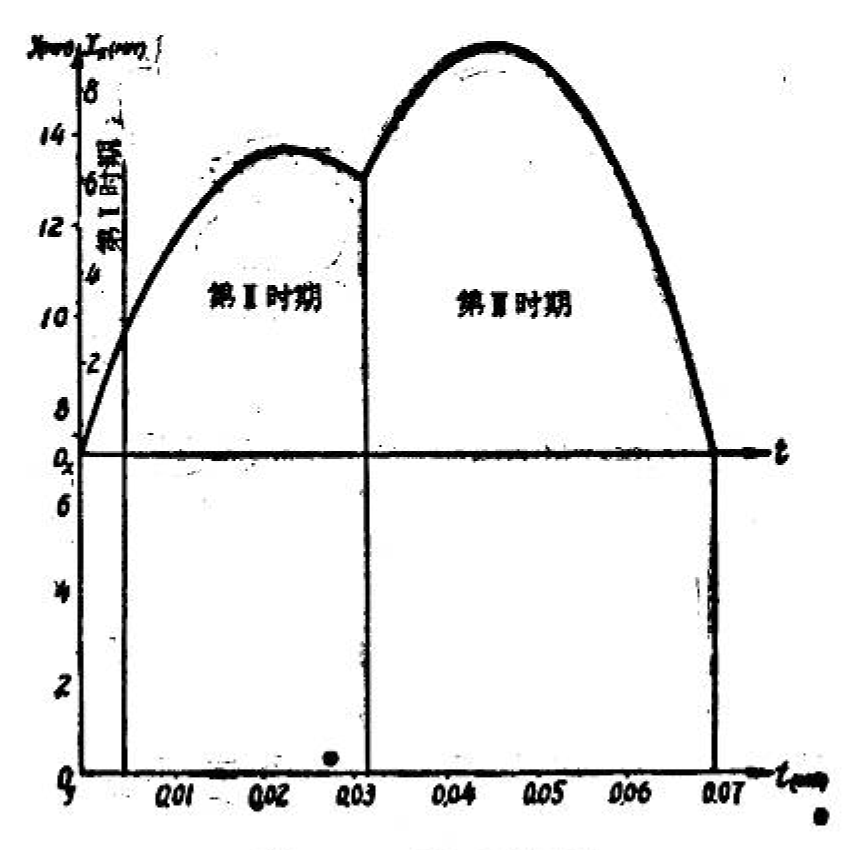


圖14 $v = f(t)$的圖解。

自动机工作中的特征瞬間	槍机框座标 x_p (мм)	机槍机匣座标 $x_к$ (мм)	槍机框速度 V_p(м/сек)	机槍机匣速度 $V_к$(м/сек)	运动时間 t (сек)
击針对底火的撞击	0	0	−2.4	0/−0.2	0
自动机工作起点	0	0	0.67❶	0.67	0.0016
槍机开鎖	22.7	2.7	6.7/5.24	0.4	0.0063
槍机框最后方位置	143.1	6.1	3.36/−1❶	−0.165/0.39	0.0338
槍机框最前方位置	0	0	−3.4	0	0.0886

这种区别就在于武器运动規律不同，作用于槍架上的力的变化性質不同以及应用武器复进击發的方法不同。

在所研究的自动武器緩冲器工作略圖中两次应用了武器的复进击發（槍机框在前方位置和后方位置的撞击）。

自动武器緩冲器工作时复进击發的应用与非自动武器緩冲器工作时复进击發的应用是有原則区别的并且几乎沒有非自动武器緩冲器工作时前冲所具有的缺点（迟發的危险，不發火时必需調整緩冲器彈簧以及發射前之后座作用，使射击精度恶化）。

自动武器緩冲器工作时复进击發的应用有一个主要的优点，即通过改变自动机工作条件或改变緩冲器彈簧特征数而控制武器复进击發，以便获得最有利的工作条件。

为了說明通过改变自动机工作条件的方法可以改变緩冲器工作条件，对緩冲器特征数不变但自动机工作条件不同的情况下（导气箍内火藥气体压力作用强度較小）之自动机和緩冲器工作条件（与上面所作的研究相类似）进行了研究。

說明在此种情况下自动机工作槍机框座标变化 x_p 和武器机匣座标 $x_к$ 变化的曲綫示于圖 15 中。

說明緩冲器彈簧压縮量 y 变化和彈簧的压縮力 $П_к$ 变化的曲綫示于圖 16 中。

我們比較一下說明在所討論的自动机工作的两种情况下整个武器位移座标变化的曲綫便可以發現它們有某些相似的地方但同

❶ 分子表示撞击前的速度，分母表示撞击后的速度。

时也可以看出它們有很大的区别。这些曲綫相似之点，就是它們有两个“小凸峰”，不同之点是“小凸峰”大小不同。

分析一下所作的研究，便可以得出結論，第一个凸峰是說明主要由于作用在槍膛底部和导气箍前壁上的火藥气体压力冲量而产生的武器运动；第二个凸峰說明主要由于槍机框在后方位置撞击的結果而产生的武器运动。槍机框运动时作用于武器机匣上的复进簧力对所討論的曲綫性質亦有影响。然而当自动机工作条件变化时該力的变化性質几乎是一样的。

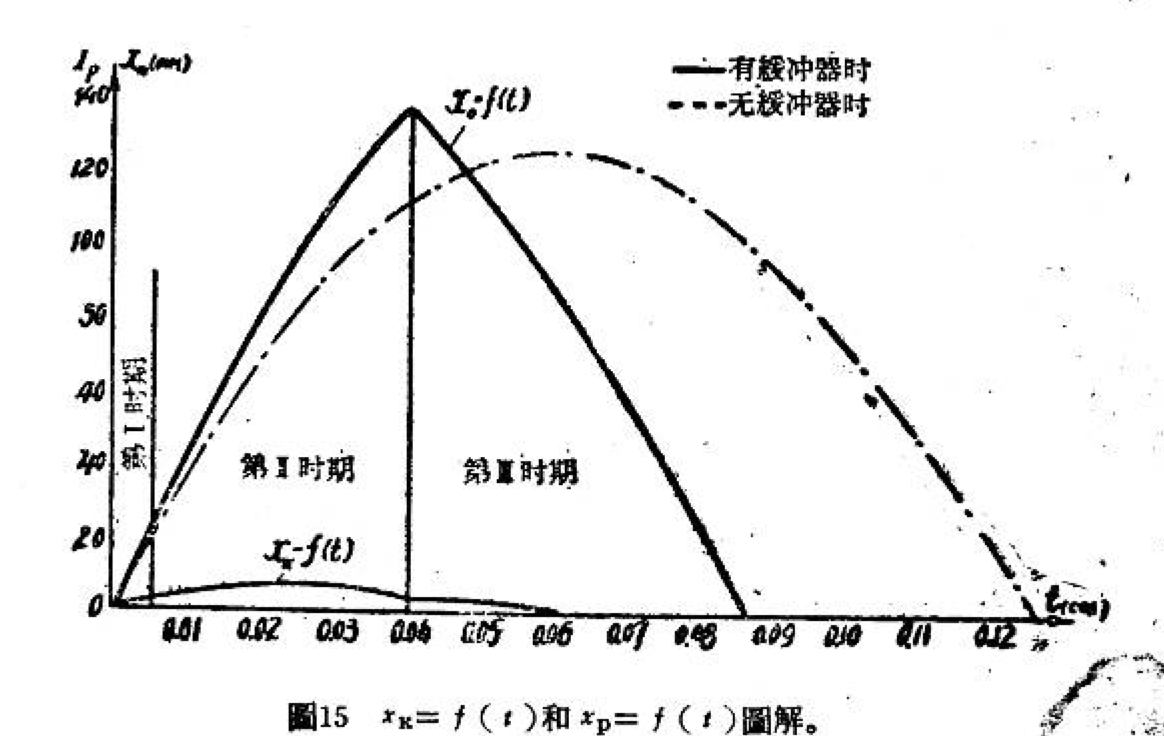


圖15 $x_K = f(t)$ 和 $x_p = f(t)$ 圖解。

在緩冲器工作时間內，如果导气箍內的火藥气体压力作用强度較大的話，那么作用在武器机匣上的膛內和导气箍內的火藥气体压力的总冲量减小，因为在这种情况下作用在导气箍前壁上的火藥气体压力冲量較大，因而减小了火藥气体压力总冲量和武器机匣动量的总增量。这就减小了表明武器机匣随时間变化的位移曲綫的第一个凸峰。

当导气箍內的火藥气体压力作用强度較大时，槍机框获得比較大的动量增量，这就增大了槍机框在后方位置时对武器机匣的

撞击并增大了表明机匣位移变化的曲綫第二个"凸峰"。該曲綫的第二个"凸峰"的增大是由于槍机框在后方位置發生撞击之前武器复进动量减小的結果，而武器复进冲量减小是由于第一"凸峰"值較小的緣故。

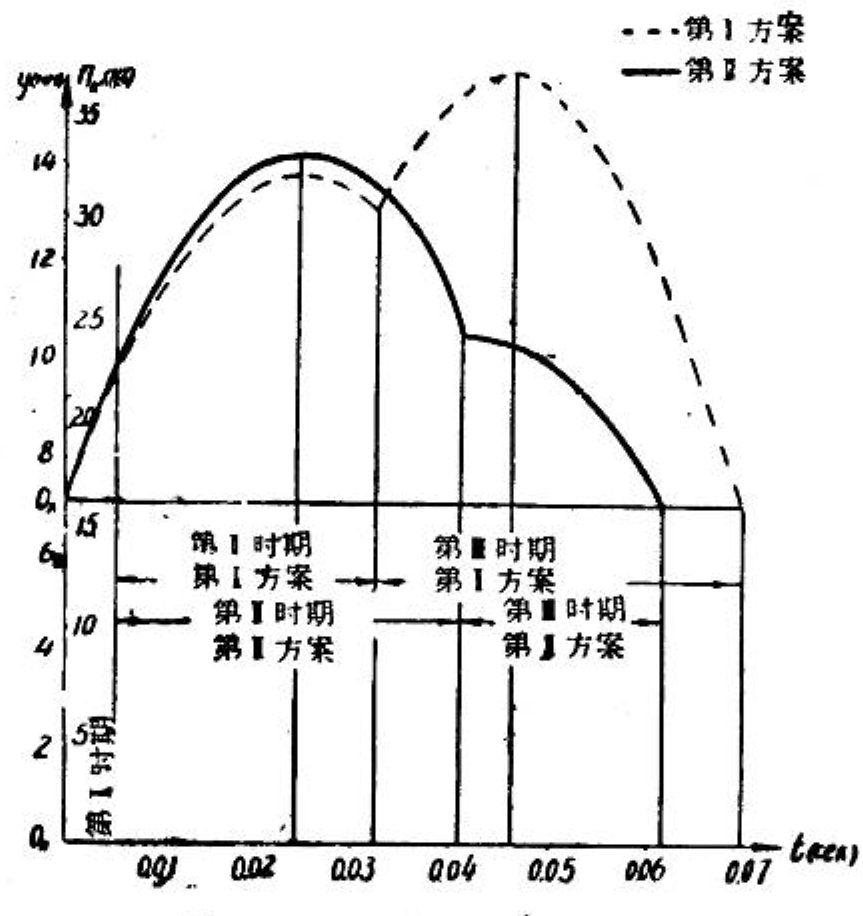


圖16 $y=f(t)$和$\Pi_{x}=f(t)$圖解。

当导气箍內火藥气体压力作用强度很小时，緩冲器工作时間內完全是另外一种情况。在这种情况下，由于作用在导气箍前壁上的火藥气体压力冲量减小的結果，火藥气体压力作用时武器机匣动量总增量增加，因而表示武器机匣位移座标随时間变化的曲綫第一个凸峰相应地增大。

該曲綫第一个凸峰增大就使得槍机框在后方位置發生撞击之前武器复进的冲量增大，这就促使表示武器机匣位移座标随时間变化的曲綫的第二凸峰减小。該曲綫第二凸峰的减小也是由于在

导气箍内当火藥气体压力作用强度不大时槍机框在其开始向后运动时获得的动量增量也不大，而这就减小了槍机框在后方位置时对机匣的撞击。

圖 16 中的圖解說明在上述两种緩冲器工作情况下作用在槍座上的力的变化。

这些圖解表明，当导气箍內的火藥气体压力作用强度很小时（第二个方案），作用于槍座上的力的最大值和緩冲器工作的总时間较之在导气箍內的火藥气体压力作用强度很大时要小（第一种方案）。

这些結果表明，自动武器緩冲器工作的特性。

为了研究緩冲器彈簧对緩冲器工作条件及武器复进的影响，对第一种方案（导气箍內火藥气体压力强度很大时）情况下的緩冲器和自动机的工作进行了研究。但要采用两个新的緩冲器彈簧特征数（緩冲器彈簧剛度系数增大一倍和减小二分之一）。

自动机和緩冲器工作研究結果（用第一种方案所采用的方法）以圖解的形式示于圖 17 中。該圖解說明槍机框位移座标 x_p 和武器机匣位移座标 $x_к$ 随时間变化的情形。

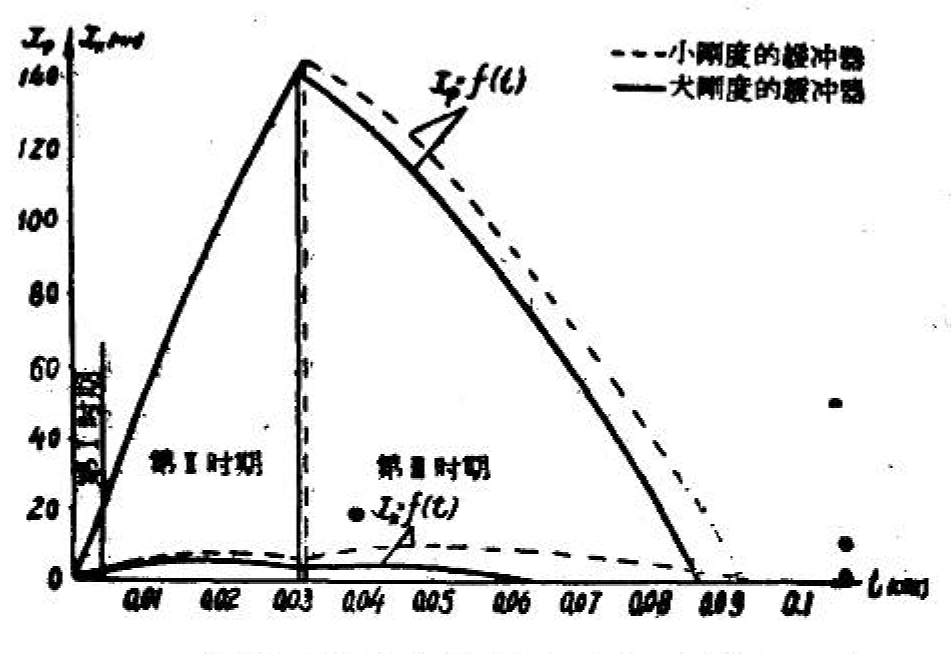


圖17　$x_к = f(t)$ 和 $x_p = f(t)$ 圖解。

表明武器机匣位移座标变化的曲綫（圖 17）指出，在上面所討論的緩冲器工作的两种情况下武器运动规律有很大的区别。在第一种情况下（緩冲器彈簧剛度系数减小时）由于与緩冲器彈簧相連接的武器自由振动周期的增大，很少能利用槍机框在后方位置撞击时武器的前冲，这就增大了表明武器机匣位移座标随时間变化的曲綫的第二凸峰。与此同时，緩冲器工作时間大大增加。

在第二种情况下（緩冲器彈簧剛度系数增大时）由于与緩冲器彈簧相連接的武器自由振动周期的减小，在很大程度上能够利用槍机框在后方位置撞击时武器的前冲。这就大大地减小了表明武器机匣位移座标随时間变化的曲綫的第二凸峰。緩冲器工作时間在这种情况下大大减小。

圖 18 所示的曲綫說明在我們所討論过的两种緩冲器工作的情况下作用于槍座上的力的变化。这些曲綫表明，在緩冲器彈簧剛度比較大而且緩冲器工作时間减小的情况下作用于槍座上的力显著地增大。

圖 19 所示的曲綫說明發射后自动机不工作武器机匣位移座标之变化（緩冲器彈簧特征数是对第一种方案下緩冲器的工作而言的）。在这个圖上还有以前获得的表示同一緩冲器彈簧特征数下，但自动机工作时（导气箍內火藥气体作用强度不同）机匣位移座标变化。这些曲綫的比較說明緩冲时整个武器运动规律的特点。

在所作的研究中我們是以导气式自动机的工作單發时为例討論自动武器緩冲器的最主要的工作特点的。

这一类自动机工作(但为連發射击)时以及以其他原理为基础的自动机工作时，自动武器緩冲器工作有某些特性。这些特性在于，連發时有可能利用由于前一次發射后武器复进而产生的整个武器前冲，以及利用槍管后座式武器的槍管在后方位置时对机槍机匣撞击瞬間武器的前冲。

圖 20 所示的圖解說明連發时导气式自动机槍机框位移座标

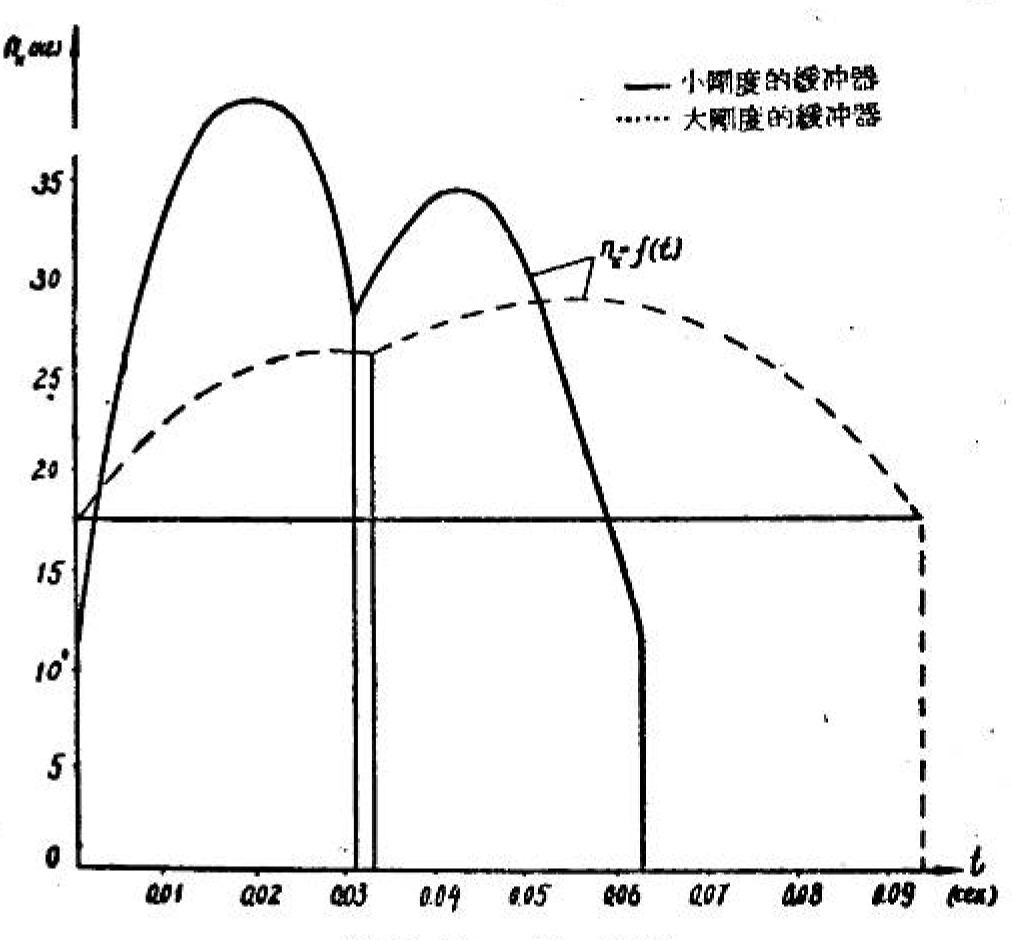


圖18　$\Pi_к = f(t)$圖解。

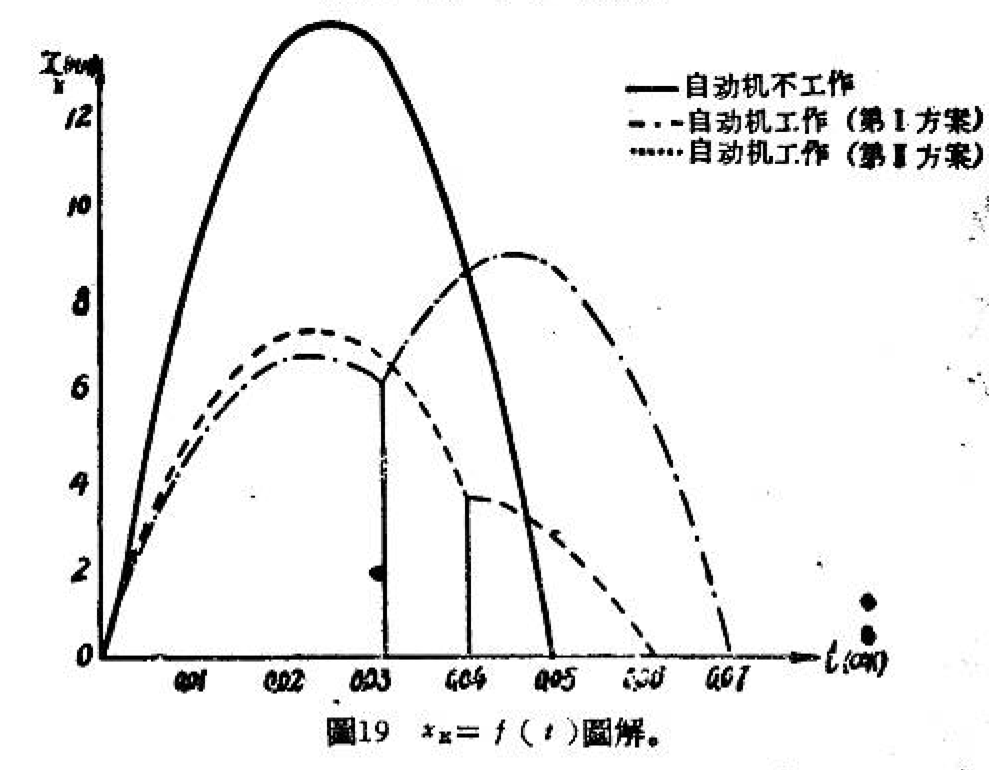


圖19　$x_к = f(t)$圖解。

和机匣位移座标的变化。分析一下这些圖解便可以作出如下的結論：如果緩冲器工作时間小于自动机工作循环时間，那么自动机的工作和緩冲器的工作，无論在連發时或在單發时的相互影响都是一样的。

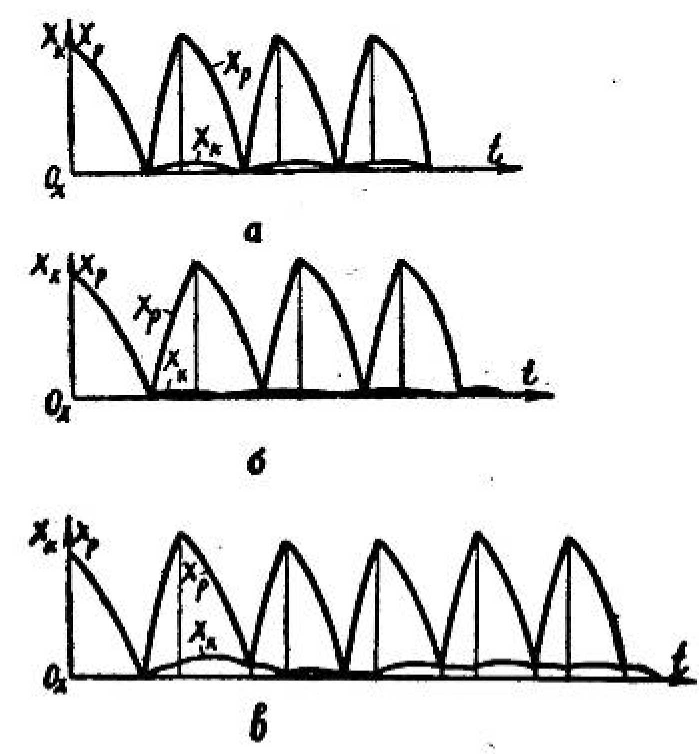


圖20 連發时 $x_K = f(t)$ 和 $x_p = f(t)$ 圖解：

a)、б)——緩冲器工作循环时間小于自动机工作循环时間；

в)——緩冲器工作循环时間等于自动机工作循环时間。

点射时自动武器緩冲器的工作有某些特性仅仅是由于緩冲器工作結束后武器振动的緣故（有前方緩冲垫），或由于武器在前方位置撞击擋板后运动的緣故（沒有前方緩冲垫），因此在下次發射之前武器已具有某一初速。有时，为了保証在全部連發过程中緩冲器工作的稳定性，采用專用的消振装置，以保証迅速消除緩冲器工作后武器的振动。

如果緩冲器工作时間等于自动机工作循环时間（在下次發射时武器的复进并沒有結束），那么緩冲器工作另具有若干原則性的特性，即可以利用前次發射复进时整个武器的前冲。

正如机槍机匣位移座标 x_K 变化的圖解所表明的，在这种情况下武器在連發过程中不能回到前方位置，从而消除了复进結束时对槍架或槍座的撞击。然而緩冲器如此工作武器在各次發射中不是在相同的位置上，这对于射击精度会产生不利的影响。

圖 21 和 22 所示的圖解表示槍管短后座式自动机槍管位移座

标、槍机位移座标和武器机匣位移座标随时間变化的情形。

槍管短后座式的武器之緩冲器的工作具有某些特性，这些特性是在这种情况下当緩冲器工作时，作用于武器机匣上有數个冲量負荷（槍机和槍管到达最后方位置和最前方位置时）。正如圖解所表明的那样，武器机匣开始向后移动不是由于火藥气体压力的直接作用，而是由于槍管在后方位置时对机匣的撞击。

連發时槍管后座式自动武器緩冲器工作特性与导气式自动武器緩冲器工作特性相同。

圖 21 所示圖解表示槍管短后座式自动机槍管座标位移 x_c、槍机位移座标 x_3 和机匣位移座标 x_K 的变化，此时槍管后座后立即回到前方位置。

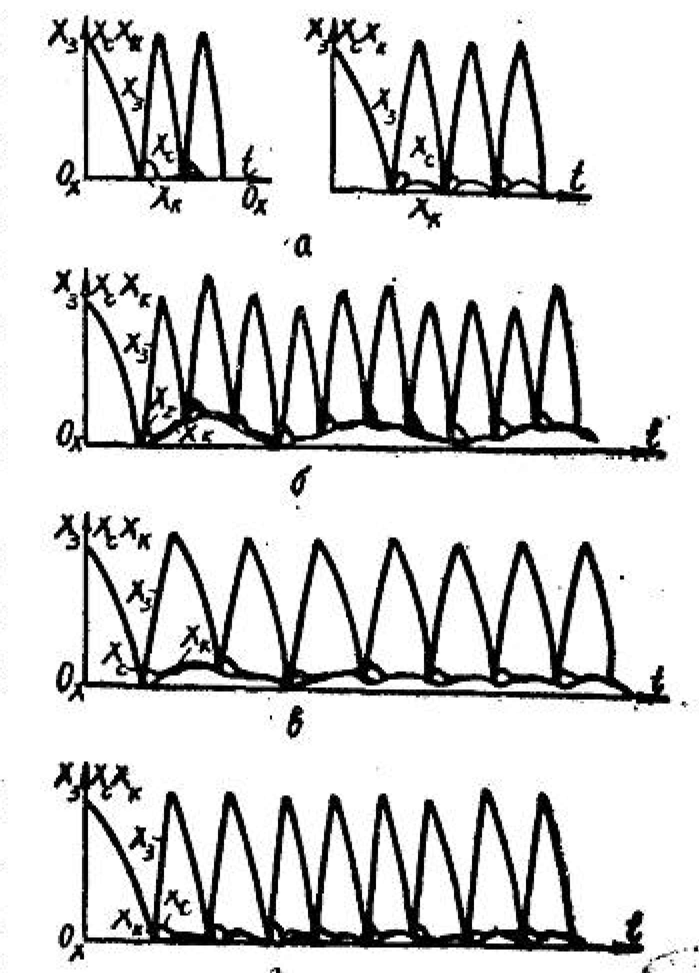


圖21 連發时 $x_K = f(t)$，$x_c = f(t)$ 和 $x_3 = f(t)$ 圖解（MG-42 机槍）：

a)——緩冲器工作循环时間小于自动机工作循环时間武器剛性連接或采用剛性緩冲器时的緩冲；

б)，в)，г)——緩冲器工作循环时間等于自动机工作循环时間。

圖22所示的也是槍管短后座自动机的圖解，而槍管在槍机回复之前停止在后方位置。

分析一下所列的圖解，可以作出結論，改变緩冲器的特征數，可以获得各种不同的緩冲器工作情況并且能够使緩冲器工作与自动机工作的配合成完全滿足对武器所提出的要求。

按照上述关于选擇自动武器緩冲器的要求和利用計算自动机的一般方法并考虑到武器的緩冲，根据已知的自动机工作特征数就可以为給定的武器选擇最有利的緩冲器特征数。

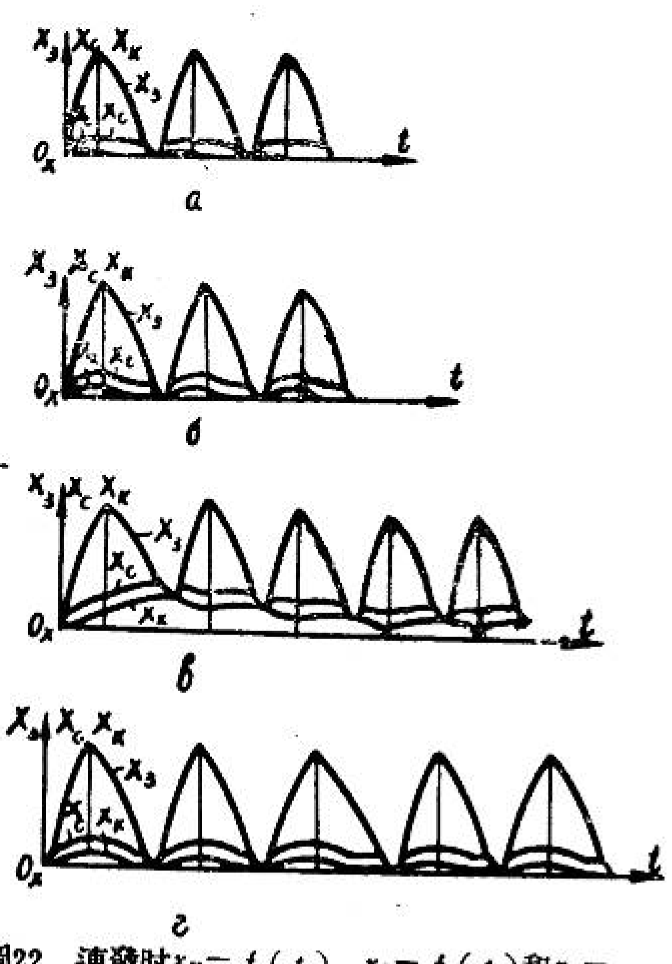


圖22　連發时$x_к = f(t)$，$x_c = f(t)$和$x_з = f(t)$圖解（勃朗宁机槍）：

а），*б*）——緩冲器工作循环时間小于自动机工作循环时間；

в），*г*）——緩冲器工作循环时間等于自动机工作循环时間。

§2　自动武器緩冲器工作的近似研究法

如果我們假設武器緩冲对自动机工作沒有很大的影响，則在这种情况下，选擇自动武器緩冲器特征数时可以根据給定的动力冲量圖解利用近似法計算緩冲器。

自动武器緩冲器工作近似計算法以緩冲器工作对自动机工作沒有影响的假定作为基础。

使用此种假定时，我們不研究具有数个自由度的自动机活动部分和武器机匣活动部分，而研究具有一个自由度的活动部分系統，而且把它們的运动簡化为在一根彈簧的彈簧力和根据任意規律随时間变化的力的作用下之平移运动和直綫运动。

应用这种自动武器綫冲器近似計算法时，必須知道冲量动力圖解。这些圖解表明为时間函数的各种力和冲量沿槍膛軸綫方向对武器机匣的作用。

冲量动力圖解可以用各种不同的方法求出。如对所研究的武器来講，已經有了自动机的計算結果，那么根据計算就容易作出冲量动力圖解。

例如，利用上述計算自动机的特征数，可以确定，在导气箍內的火藥气体压力作用下活动部分获得的动量增量：

$$M_p V_p = 0.096 \times 6 = 0.58 кг \cdot сек。$$

可以假設，在导气箍內的火藥气体压力作用的时候，对导气箍前壁作用的冲量

$$I_2 = M_p V_p = 0.58 кг \cdot сек。$$

火藥气体压力作用于膛底的时間內，对机匣向后作用的冲量：

$$I_1 = \frac{q + \beta\omega}{g} v_0,$$

式中 q 和 ω——彈丸重量和装藥重量（$q = 10\ г$；$\omega = 3.14 г$）；

g——自由落体加速度（$g \doteq 9.81 м/сек^2$）；

v_0——彈丸初速（$v_0 = 830 м/сек$）；

$\beta = \frac{1275}{v_0}$——火藥气体作用系数（$\beta = 1.54$）。

代入数值，可得

$$I_1 = \frac{(0.01 + 1.54 \times 0.00314)}{9.81} \times 830 = 1.25 кг \cdot сек。$$

当活动部分在后方位置撞击时，对武器机匣作用的冲量为：

$$I_3 = M_{p.з}(V_p - V'_p),$$

式中

$M_{p.з}$——槍机框和槍机的質量

$$\left(M_{p.o}=0.127\frac{кг.сек^2}{м}\right);$$

V_p和V'_p——撞击机匣前后槍机框和槍机的速度。

$$(V_p=2.33м/сек,\ V'_p=-0.93м/сек)。$$

代入数值之后，则得

$$I_0=0.127(2.33+0.93)=0.415кг\cdot сек。$$

除这些冲量之外，在自动机工作时作用于机槍机匣上的力还有复进簧力和摩擦力。因为复进簧力是活动部分的位移函数，作綫性变化，而摩擦力是一常量。所以，知道关系式$x_p=f(t)$，根据所作的圖解容易求出随时間变化的复进簧力和摩擦力的合力。

圖23所示的动力冲量圖是对所研究的自动机工作情況而言的。如果导气箍内的火藥气体压力不用冲量負荷代替，那么动力冲量圖如圖24所示（力用另种比例尺表示）。

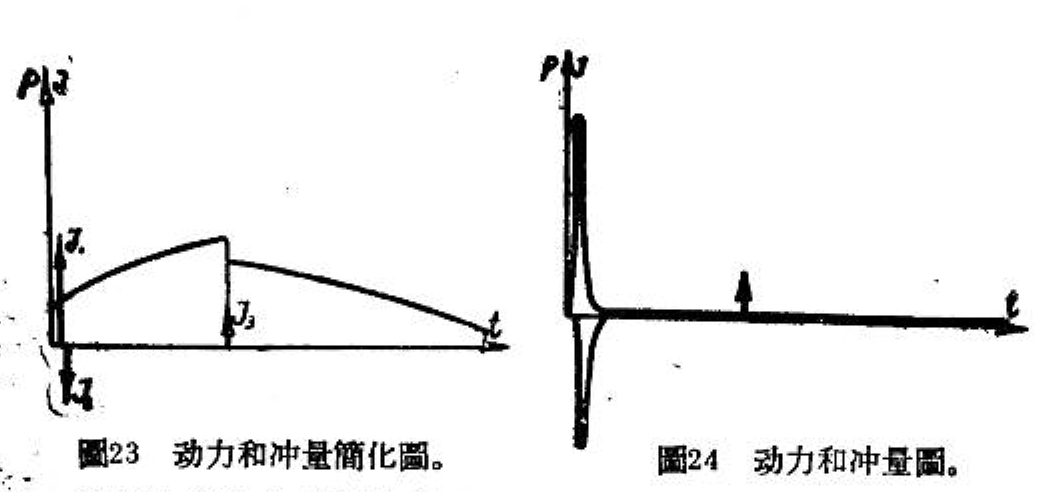


圖23　动力和冲量簡化圖。　　圖24　动力和冲量圖。

利用这样的方法所求得的动力冲量圖，知道綏冲器彈簧特征数和武器机匣質量，便可以研究自动机工作时整个武器的运动。

上述确定动力冲量圖解的方法是不精确的，因为不可能考慮到自动机工作时作用于武器机匣上的所有反作用力。此外，为了应用这种方法必須利用在武器是剛性連接的条件下自动机的計算結果，而这种計算方法在設計綏冲器时不可能都作如此假設。

利用由試験或根据自动机計算所获得的自动机主要构件速度

变化規律便可以繪出冲量动力圖解。

利用自动机主要构件速度变化这一规律和知道活动部分的質量便可以求出在不大的时間間隔內自动机活动部分动量变化并可以把这些动量变化看成与作用于机槍机匣上的相应的冲量相等。假設，在不大的时間間隔內，由于活动部分动量变化的結果作用于机匣上的力是一常量，便可以求出这些力，即把所求得的动量增量除以相应的不很大的时間增量之后，便可以获得冲量动力圖解。

譬如，假設我們已知表明导气式自动机主要构件(槍机框)速度变化規律的圖解(圖25)。

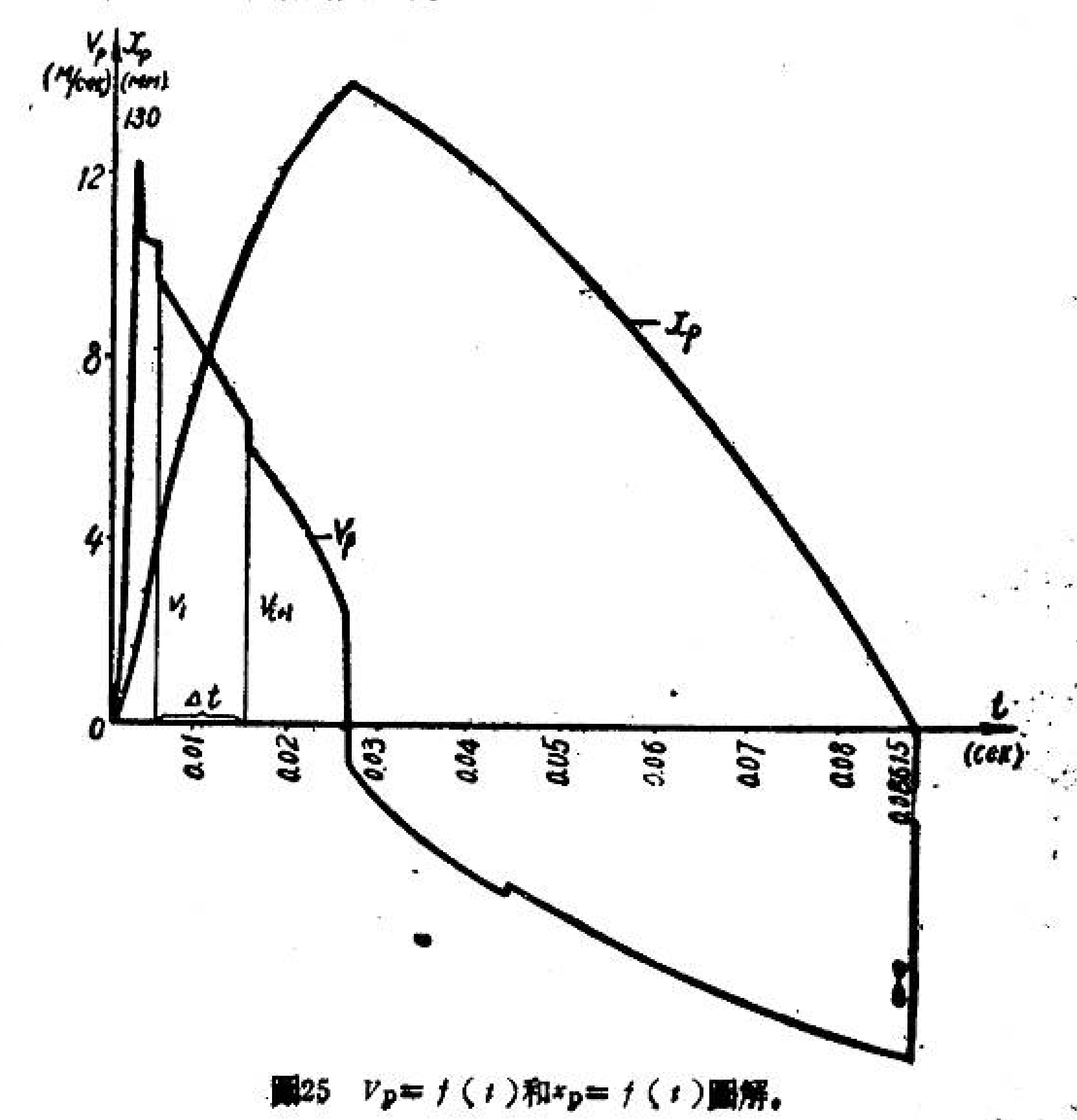


圖25 $V_p=f(t)$和$x_p=f(t)$圖解。

自动机主要构件在不大的时間間隔內动量变化可以用下列公式表示：

$$M(V_{i+1}-V_i)=-M\Delta V_i,$$

式中

M——沿槍膛軸綫方向运动的自动机主要构件質量；

V_i和V_{i+1}——在不大的时間間隔Δt开始和結束时自动机主要构件的速度。

自动机主要构件动量的这一变化是由于冲量作用的結果

$$I_i=-M\Delta V_i。$$

这样的冲量$I_{кi}$同时在相反的方向上作用于武器机匣上

$$I_{кi}=-I_i=M(V_i-V_{i+1})=M\Delta V_i。$$

知道了冲量$I_{кi}$，并假設在Δt时間內，这一冲量看作是由于在槍膛軸綫方向上作用于机匣上的不变力P_i，根据下一公式可求出此力

$$P_i=\frac{M\Delta V_i}{\Delta t}。$$

这一公式表明，上述假定就等于把自动机主要构件在不大的时間間隔內的加速度当作平均值看待的。

主要构件速度瞬間变化（撞击时）时应根据下一公式求出冲量$I_{кi}$而不求力P_i

$$I_{кi}=M\Delta V_{кi}。$$

应用上述的冲量动力圖解的近似計算法时不論自动机的工作如何，在膛內火藥气体压力作用时期分别地考慮作用于武器机匣上的力和冲量。

例如，对于导气式自动机的武器来講，作用于槍膛底部上的冲量可以根据下一公式求出：

$$I_к=\frac{q+\beta\omega}{g}v_0。$$

圖25所示的圖解表明导气式自动机（德普式机槍）主要构件（槍机框）速度之变化，圖 26 是用所述方法获得的冲量动力圖解，

而圖 27 所示的作圖是用以确定在有彈性緩冲器的条件下●，武器在自动机工作时位移$x_к$的圖解（在某一具体的緩冲器彈簧特征数时）。圖 28 所示的圖解表明連發时武器的位移。

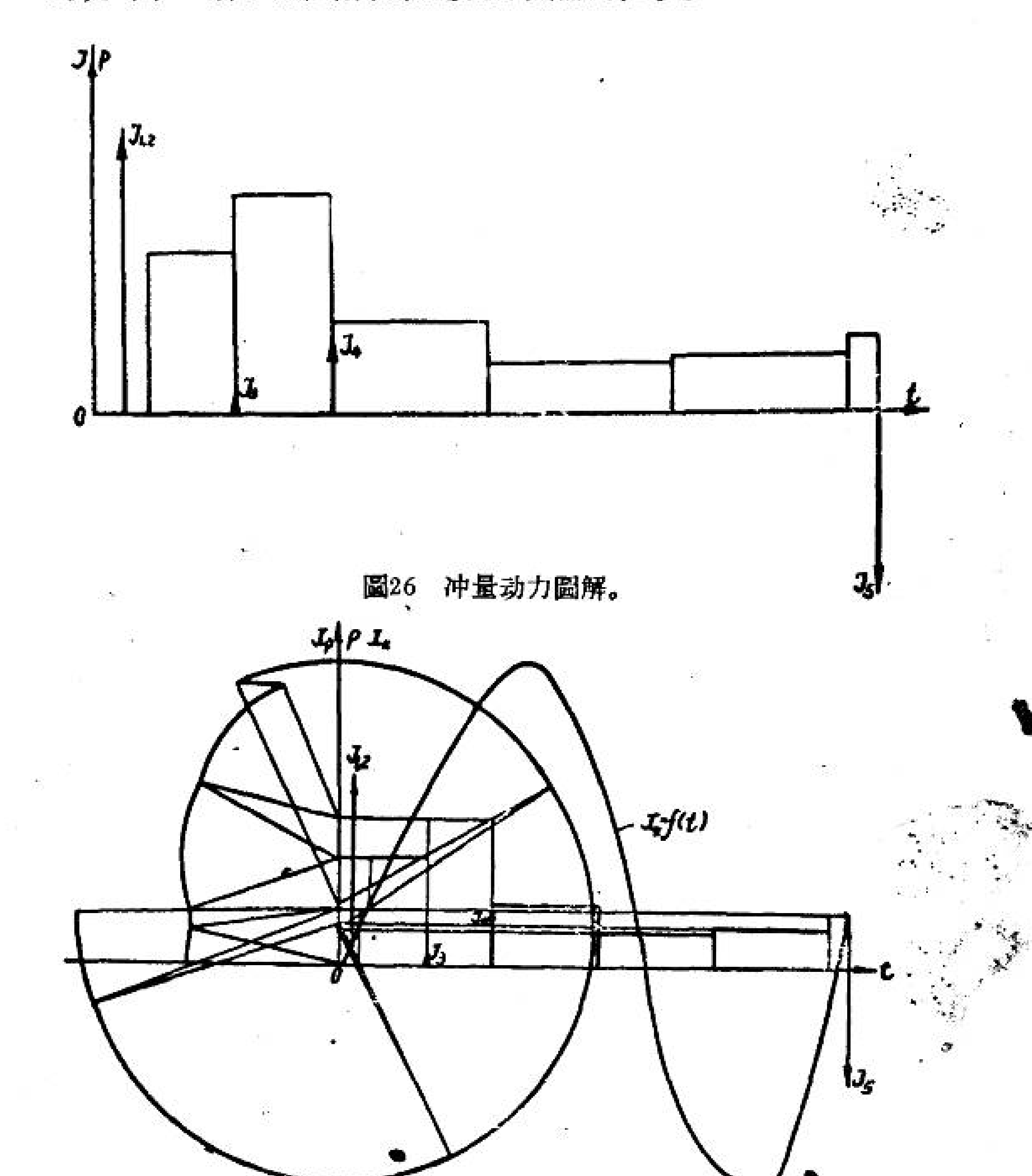


圖26　冲量动力圖解。

圖27　$x_к = f(t)$圖解的确定。

● 这些作圖是根据本書上册所述的方法制成的。

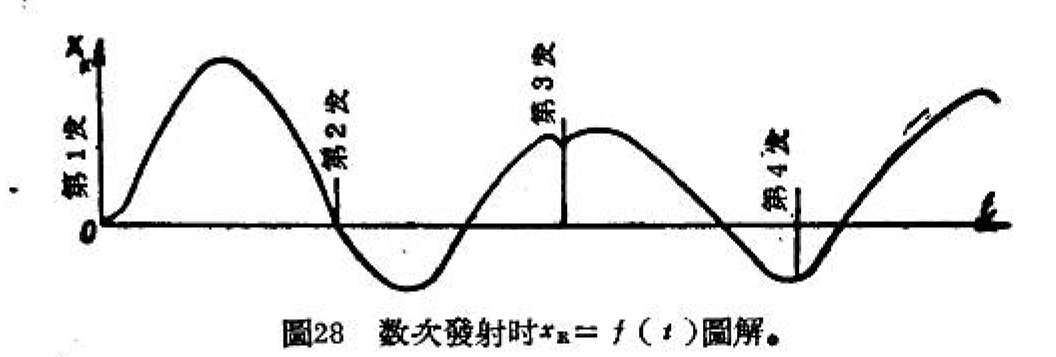


圖28 数次發射时$x_{\text{K}}=f(t)$圖解。

如果自动机是以槍管后座原理（槍管短后座）为基础的，那么在作冲量动力圖解时沿槍膛軸綫方向作用在武器机匣上的冲量应該根据下一公式求出

$$\Delta I_{\text{K}}=M_{3}\Delta V_{3}+M_{c}\Delta V_{c},$$

式中

$\Delta V_{3}=V_{3i}-V_{3(i+1)}$——槍机在不大的时間間隔內的速度增量；

$\Delta V_{c}=V_{ci}-V_{c(i+1)}$——槍管在不大的时間間隔內的速度增量。

ΔV_{3}和ΔV_{c}的值可以根据表示所研究的武器槍管和槍机速度变化的圖解(圖29)求出。

在不大的时間間隔內速度平稳变化时可以根据下一公式求出作用于武器机匣上的平均力：

$$P_{i}=\frac{\Delta I_{\text{K}}}{\Delta t}。$$

在这种情况下，应該考虑到，不是所有作用于自动机活动部分上的冲量（槍管和槍机）都傳到武器机匣上，因为槍膛底部的火藥气体压力冲量不是直接作用于武器机匣上的。

在火藥气体压力作用下槍管运动期間，应該考虑到复进簧力对武器机匣的作用和火藥气体对槍口帽的作用。

計算槍膛底部火藥气体压力作用时复进簧力时，可以取这些力的平均值。火藥气体对槍口帽的作用可以計算其相当冲量I_{K}；該冲量根据下一公式求出

$$I_{\kappa}=\mu_{\kappa}\frac{\beta-0.5}{g}\omega v_{0},$$

式中

μ_{κ}——槍口帽对武器机匣作用的冲量系数；

β——火藥气体作用系数；

ω——装藥重量；

v_{0}——彈丸初速；

g——自由落体加速度。

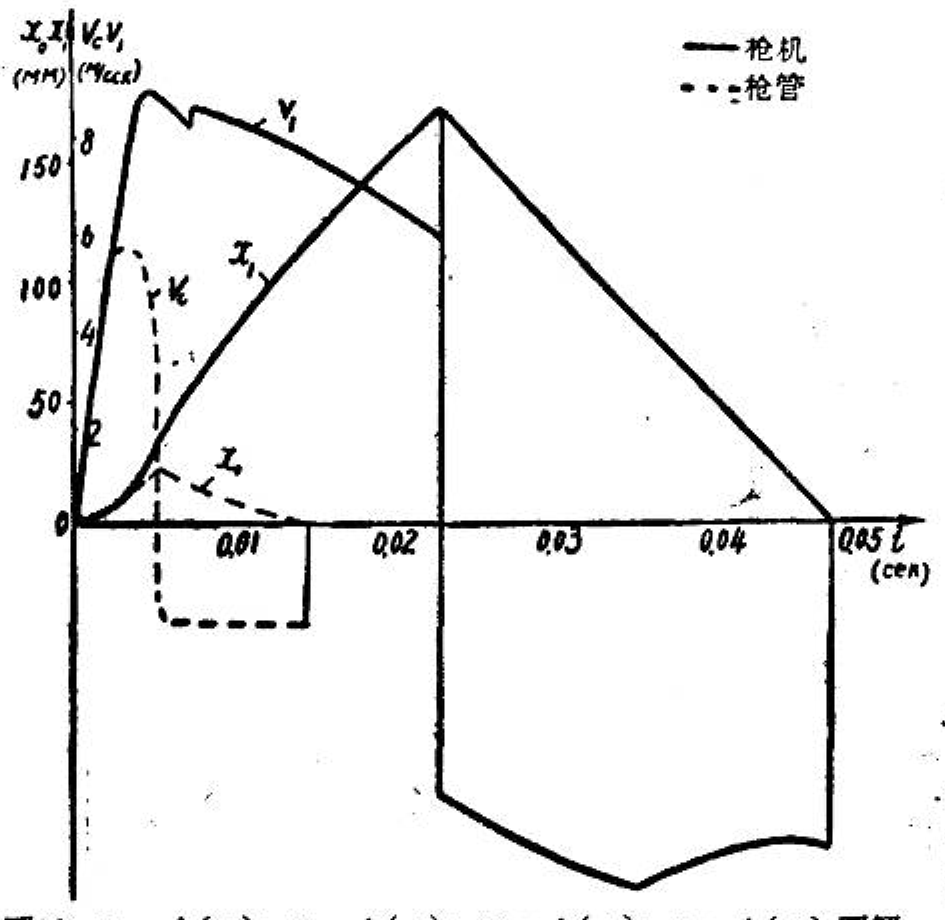


圖29 $V_{C}=f(t)$；$x_{C}=f(t)$；$V_{3}=f(t)$；$x_{3}=f(t)$ 圖解。

圖29所示的圖解表明槍管短后座式自动机槍管和槍机的速度变化。圖30所示为所获得的动力冲量圖解。圖31所示为表明在有彈性緩冲器的条件下自动机工作时四次發射● 中武器位移的圖

● 圖31上之 O_{P} 为冲量动力圖解之座标原点，O_{x}为圖解$\frac{V_{K}}{p}=f(x_{K})$ 之座标原点（上原点O_{x}为后座緩冲器工作时之原点，下原点为复进緩冲器工作时之原点）。

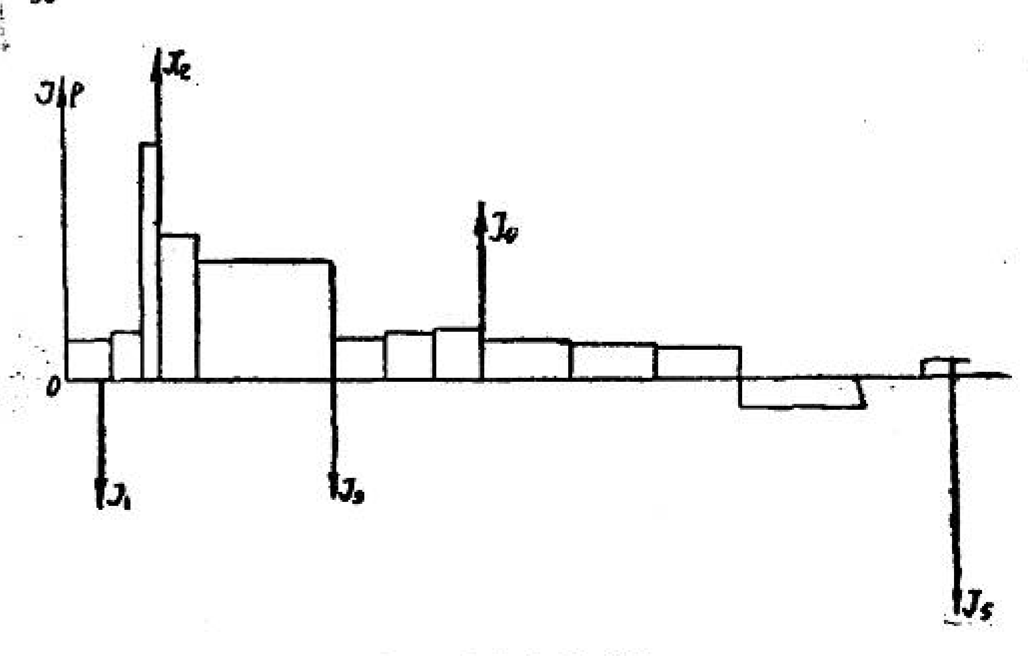


圖30　动力冲量圖解。

解。圖 32 所示的圖解表明在連發射击时武器的位移 $X_к$。这一圖解用另一比例尺可以得出緩冲器彈簧压縮力 $П_п$。

如果自动机活动部分（槍机框或槍管和槍机）速度变化規律为已知的話，便可以应用上述确定冲量动力圖解的作圖法。然而，动力冲量圖也可以根据武器彈性緩冲时的位移圖解求出。

如果武器在槍膛軸綫方向上的位移座标 $x_к$ 随时間 t 变化函数关系式(圖33)是已知的，并且緩冲器彈簧刚度和彈簧預压力也是已知的，那么用这些諸元作动力冲量圖解时，可按下列步驟进行:

1. 过横座标軸所截的相等綫段的末端作若干垂綫(圖 34)并使一条垂綫通过 $x_к = f(t)$ 曲綫之最大縱座标。

2. 由 $x_к = f(t)$ 曲綫的最大縱座标向縱座标軸引一条垂綫交于点 a_0

3. 由相邻的縱座标的末端向縱座标軸引一条垂綫并向左延長此垂綫。

4. 在此垂綫的延長綫上求出 a_1 点，以便使三角形 $a_1a_0O_1$ 是等边三角形并使三角形的頂角等于用下述公式求出的角;

$$\Delta\beta = hp\alpha_t,$$

式中

h ——横座标軸上的一綫段的長度；

p ——与弾性緩冲器相連接的武器自由振动頻率；

α_t——时間比例尺（cek/mm）。

角 $\Delta\beta$ 可以給出。同时应該根据上述公式求出 h 值。在这种

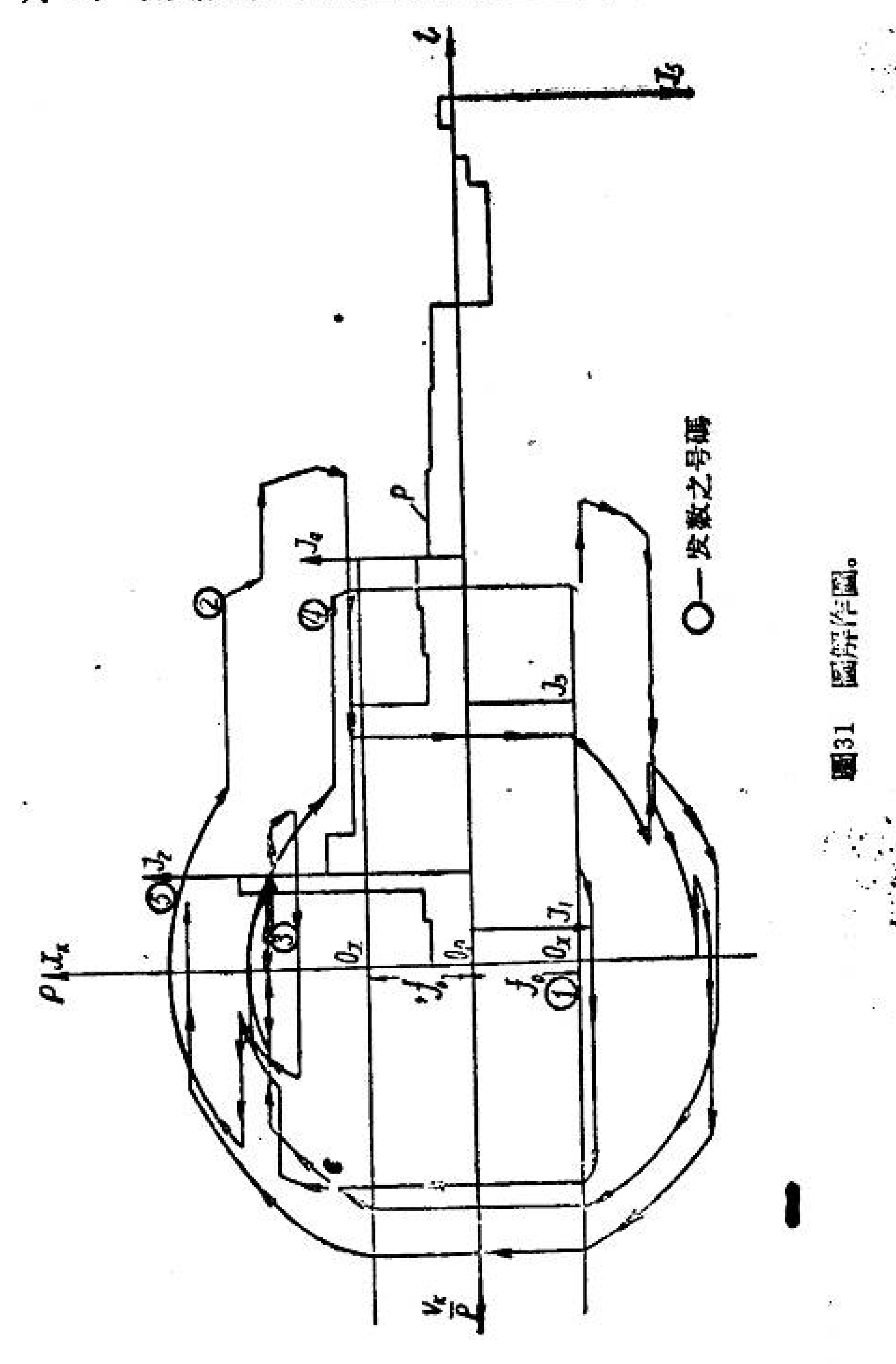


圖31 圖解作圖。

情况下利用由紙剪成的样板（圖35）可以很方便地求出点 a_1。使样板上的点 c 与圖上的点 a_0 重合并以这些点为軸轉动样板直至样板上的綫 cd 与縦座标軸重合为止，便可以求出保証滿足作圖时所要求的条件的点 O_1 和 a_1。

5. 由曲綫 $x_к = f(t)$ 的下一縦座标末端向縦座标軸作垂綫并向左延長。

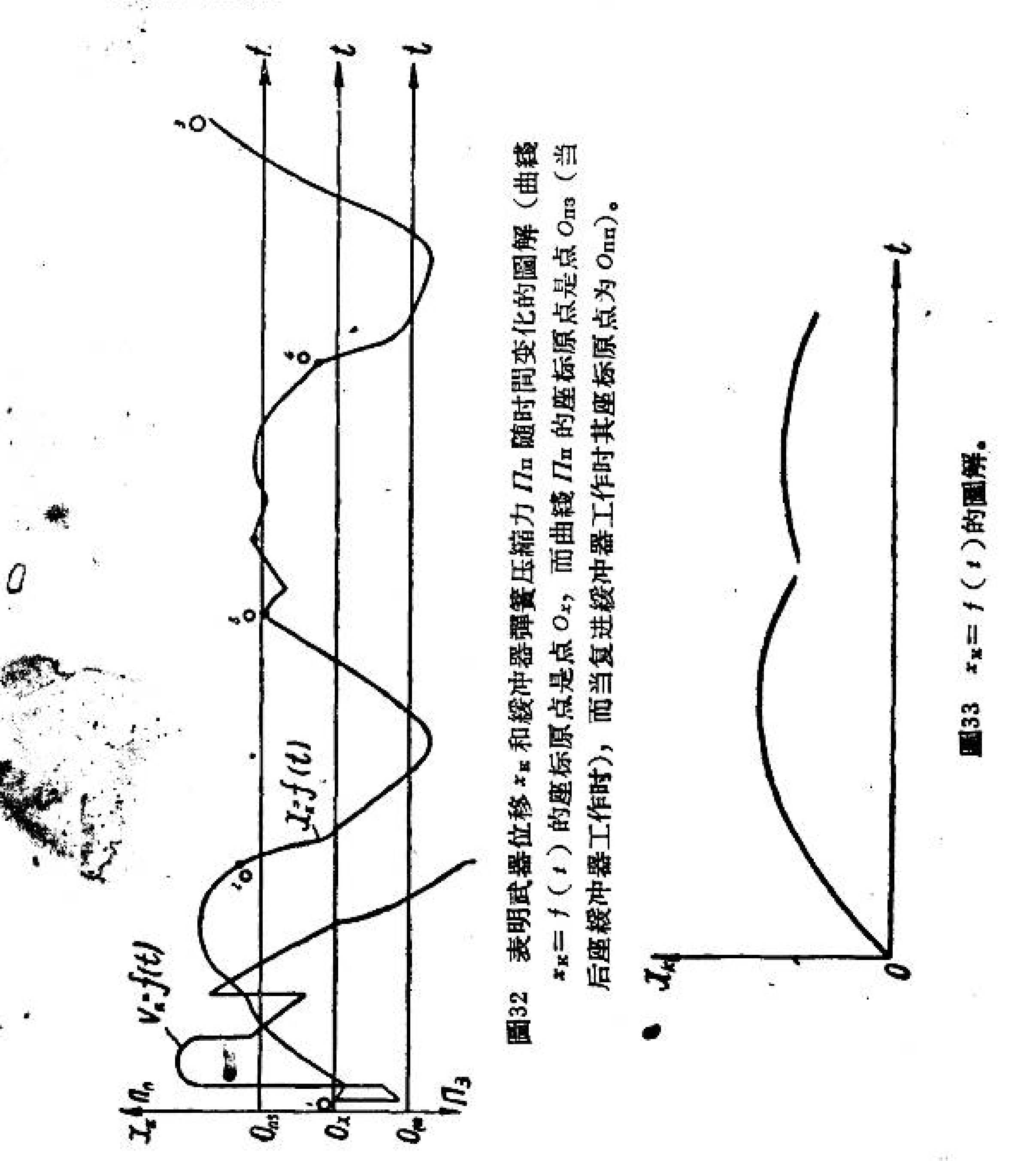


圖32 表明武器位移 $x_к$ 和緩冲器彈簧压縮力 $П_з$ 隨时間变化的圖解（曲綫 $x_к = f(t)$ 的座标原点是点 O_x，而曲綫 $П_з$ 的座标原点是点 $O_{пз}$（当后座緩冲器工作时），而当复进緩冲器工作时其座标原点为 $O_{пп}$）。

圖33 $x_к = f(t)$ 的圖解。

6. 現在使样板上的一点 c 与所求得的点 a_1 重合并以这些点作起点轉动样板，便可以求出两个新点 O_2，a_2，这些点同样可以保証滿足作圖时所要求的条件。

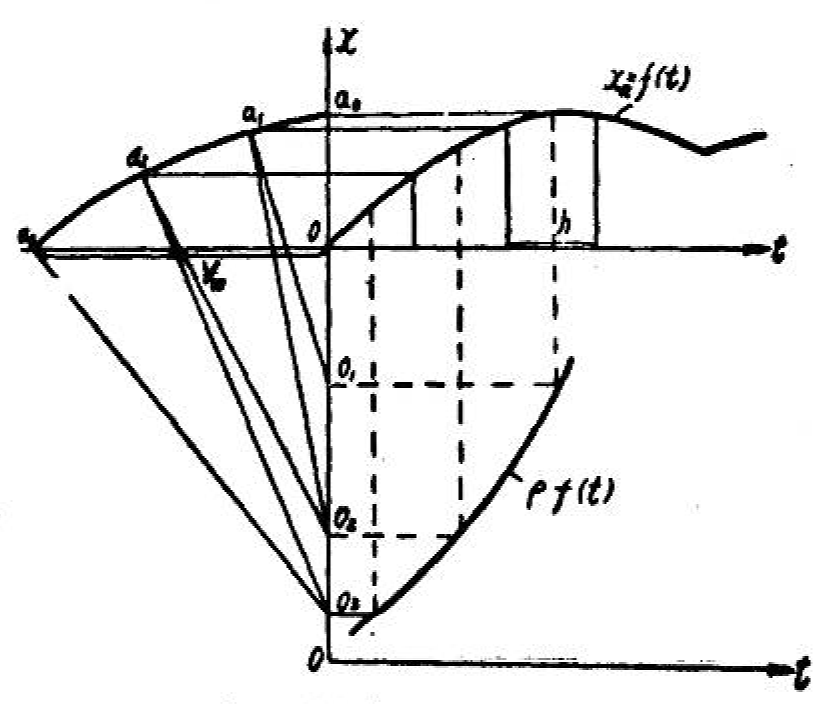


圖34 动力冲量圖解的作圖法。

7. 用类似的方法継續作圖，还可以获得一对点 O_3，a_3等。

如果現在用平滑曲綫联接所获得的各点 a_0；a_1；a_2……，那么，此曲綫将給出速度 V_K 与座标 x_K 的圖解关系。圖中与速度成比例的綫段用 $\alpha_V=\alpha_x p$ 比例尺表示。

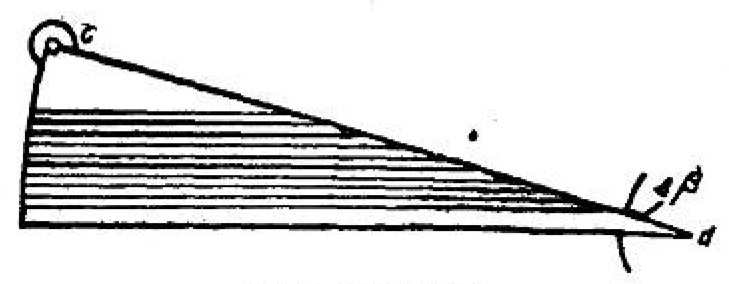


圖35 作圖样板。

如果現在过横座标軸上的所有綫段 h（这些直綫在圖上是用虛綫表示的）的中点作垂直綫并由相对应的各点 O_1；O_2；O_3等向这些垂綫引垂綫，那么，这些垂直綫的交点就是曲綫 $P=f(t)$ 的

各点。此曲綫即表示自动机工作时作用于武器机匣上的力以时間为函数的关系（以点 O' 为座标原点）。圖中綫段 OO' 表示緩冲器彈簧預压量。

以同样的方法，对曲綫 $x_к = f(t)$ 的右半部作圖，便可以获得在武器后座和复进时間內的完全圖解 $P = f(t)$。

在后座开始作圖34的圖解时，如 $t = 0$ 和 $x_к = 0$，武器的速度 $V_{к1}$ 用比例尺为 α_V 的綫段 Oa_3 表示。知道此速度和武器在發射前的速度 $V_{к0}$，便可以确定賦与武器以动量增量之冲量值（后座开始时）。

显然，該冲量值可以根据下一公式求出：

$$I_к = M_к(V_{к0} + V_{к1})。$$

該冲量在圖上可以用比例尺为 α_i 的 $P = f(t)$ 表示之。

动力冲量圖解也可以根据表明武器机匣速度以时間为函数 $V_к = f(t)$ 的圖解繪出（圖 36）。

在这种情况下，应該按照圖 36 所示的那样来配置圖解 $V_к = f_*(t)$ 并应进行如下的作圖：在水平軸和垂直軸（O_Vt 和 O_xt）上自点 O_V 和 O_x 截取一不大的綫段，这些綫段以比例尺 α_t 代表不大的时間增量 Δt。由綫段末端沿垂直軸引若干水平綫使之与曲綫 $V_к = f(t)$ 相交。在水平軸上由綫段末端引若干垂綫。再由所作的水平綫与曲綫 $V_к = f(t)$ 的交点向下作垂綫。其次需要做样板（圖35），此时使样板角度为：

$$\Delta\beta = hp\,\alpha_t。$$

現在利用点 a_0，在極端的垂綫上利用样板求出垂直軸上的相应点 O_1 并在下一垂綫上求出点 a_1。依此法利用样板求出点 O_2 和 a_2 等。

由点 O_x 向下截取綫段

$$O_xO_p = \frac{f_0}{\alpha_x},$$

式中

f_0——緩冲器彈簧預压量；

α_x——綫性作圖比例尺（如果速度用比例尺 α_V 表示，那么，$\alpha_x=\frac{\alpha_V}{p}$，式中 p——圓周振动频率）。

如果現在由点O_p作一水平軸并經过点O_1, O_2, O_3作水平綫，使它与相应的平均垂綫相交，那么可以获得座标原点为O_p的动力圖，圖中的力用比例尺 $\alpha_p=\alpha_x\eta$ 来表示。

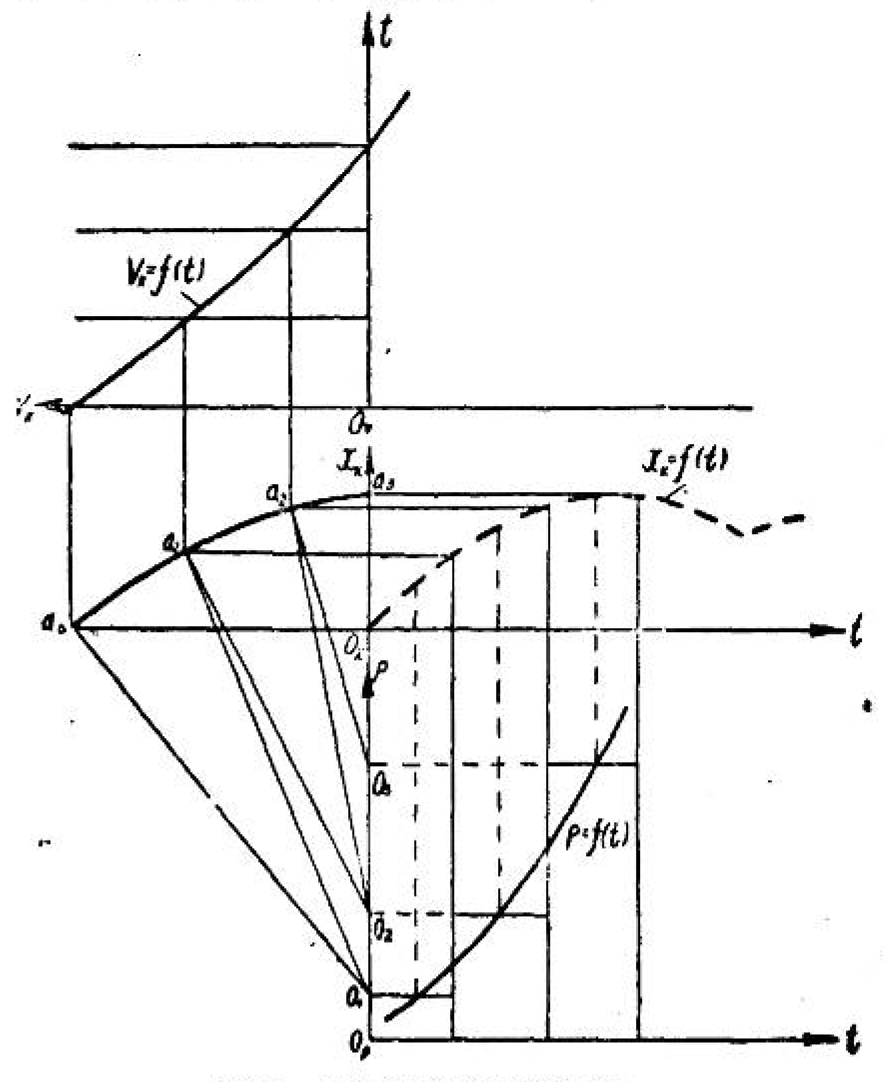


圖36 动力冲量圖的圖解确定。

如果速度剧烈变化时，那么应該如同应用上述的方法时一样求出力的冲量幷将它們标記在圖解上。

我們指出，应用所述方法，可以容易地求出武器机匣位移以时間为函数之圖解 $x_к=f(t)$。在圖 36 上，曲綫 $x_к=f(t)$用虛綫表示。

这样一来，根据作圖和簡單的計算，可以求出表明自动机工作时作用于武器机匣上的随时間平稳变化的各种力和冲量的动力冲量圖解（緩冲器彈簧彈力除外）。把所获得的动力冲量圖解称为有条件的动力冲量圖解，以区别于根据自动机計算結果而作出的动力冲量圖解。我們将后者称为給定的动力冲量圖解。

在所述的条件动力冲量圖解中已考虑到后座和复进时作用于武器上的摩擦力。但是，这有时是不利的，因为这些摩擦力的符号当武器运动方向改变时是会变化的，这随緩冲器彈簧剛度的不同可能發生在各个不同的瞬間。为了更精确地考虑到后座时在武器定向零件上所發生的摩擦力，可以單独来計算和考虑这些摩擦力。

計算这些摩擦力可以用上述的圖解分析法进行之，同时利用在自动机不工作的条件下● 記录武器發射后运动的位移座标时試驗所得的圖解 $x_{к} = f(t)$。

用这样方法获得的摩擦力可以通过适当改变緩冲器彈簧預压量的方法加以計算。

显然，后座时和复进时緩冲器彈簧預压量可以根据下列公式求出：

$$\text{后座时}\ f_0' = f_0 + \frac{R_0}{\eta}；\quad \text{复进时}\ f_0'' = f_0 - \frac{R_н}{\eta},$$

式中 R_0 和 $R_н$——后座和复进时在武器定向零件上所产生的摩擦力。

如果动力冲量圖解根据整个武器的位移确定，并且曲綫 $x_{к} = f(t)$ 沒有極大值，那么对于此曲綫上的某一点需要求出对时間的 $x_{к}$ 一阶导数，亦即以比例尺 α_V 把速度記于圖 $V_{к} = f(x_{к})$ 上求出速度。

如果采取下一假設：后座时整个武器的运动对自动机工作沒

● 运动速度变化和自动机工作时机匣定向滑板的反作用力对摩擦力的影响忽略不計。

有影响，则用上述方法所获得的条件动力冲量圖解可以作为求数个圖解 $x_{\kappa}=f(t)$ 的根据。这些圖解說明当在武器与具有不同剛度的彈性体連接的条件下后座时武器的运动。

为了說明如何根据給定的动力冲量圖解应用上述方法来研究緩冲器工作时自动武器的运动以及为了說明上述的計算动力冲量圖解的方法，我們列举一具体問題的解法。

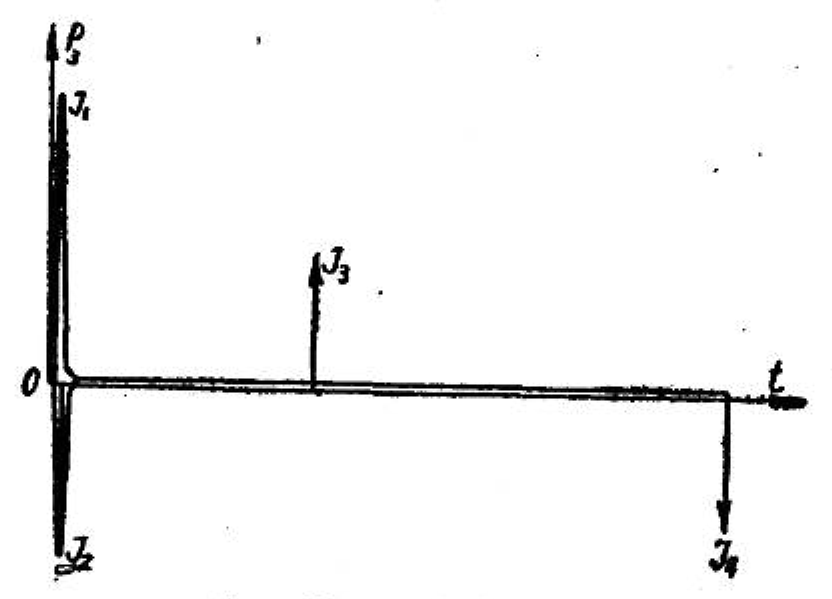


圖37 給定的动力冲量圖解。

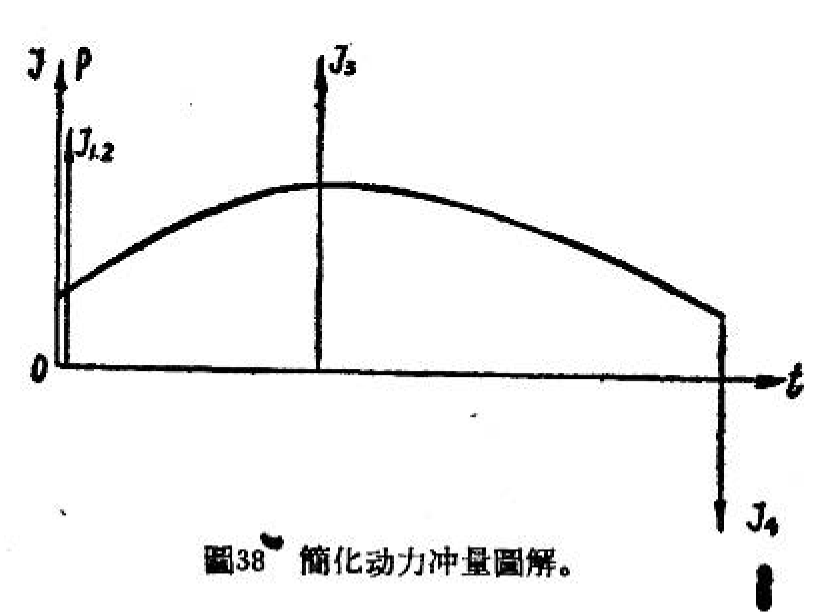


圖38 簡化动力冲量圖解。

我們假設，在机匣剛性連結的条件下，自动机工作时沿槍膛軸綫对武器机匣作用的力和冲量用圖 37 上所示的动力冲量圖解

表示。

我們把作用于槍膛底部和导气箍前壁上的火藥气体压力换成相应的冲量并改变复进簧力比例尺，可得出圖38所示的簡化动力冲量圖解。

我們假設，緩冲器彈簧可以用下列数据表明之：

彈簧剛度系数 $\eta = 2.3\ кг/мм$；

預压量 $f_0 = 7\ мм$；

武器机匣質量 $M_к = 1\ \frac{кг \cdot сек^2}{м}$。

确定武器位移座标为时間函数的圖解所必需的作圖示于圖39中（左部和中部）。由作圖而获得的曲綫 $x = f(t)$ 是表示武器为时間函数的位移，而座标原点为 O_x。此曲綫同时也表明后座力变化規律，此时座标原点为 $O_П$。

$x = f(t)$ 的圖解右部是根据武器位移座标为时間函数的給定規律确定动力冲量圖解所必需的作圖。进行这些作圖时利用由圖39所列的作圖中得出的曲綫

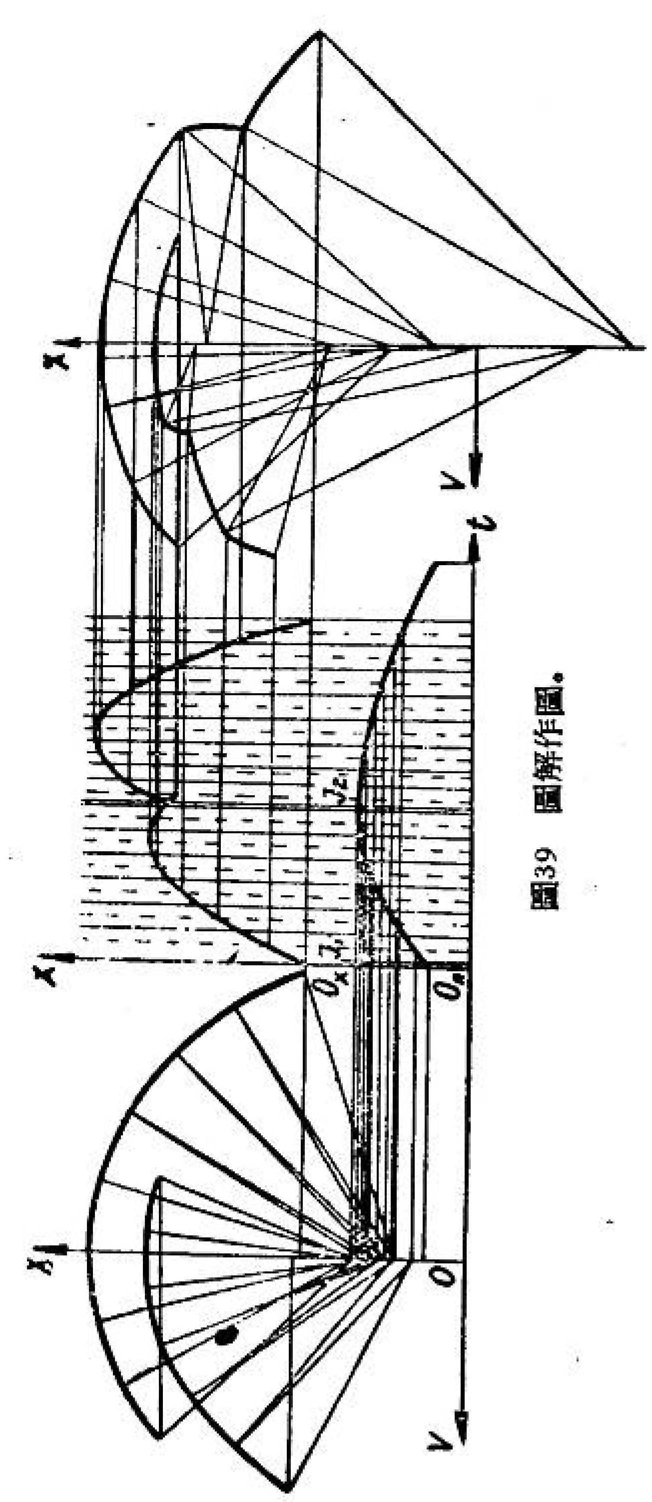


圖39 圖解作圖。

(中間)作为給定曲綫 $x=f(t)$。

所获得的动力冲量圖解(圖40)在外形上与給定的冲量动力圖解(圖38)有显著的区别，然而这两个圖解对于所研究的緩冲器彈簧刚度来講都能保証获得同样的曲綫 $x=f(t)$，这从所列的作圖中可以証实。

为了說明和証实利用所求出的条件动力冲量圖解(圖40)能够确定在用另外的緩冲器彈簧特征数时($\eta'=4.6$ кг/мм, $f_0=3.5$ мм)武器位移座标变化規律。圖41示有根据給定的动力冲量圖解(圖38)及条件动力冲量圖解(圖40)曲綫 $x=f(t)$ 的作圖。

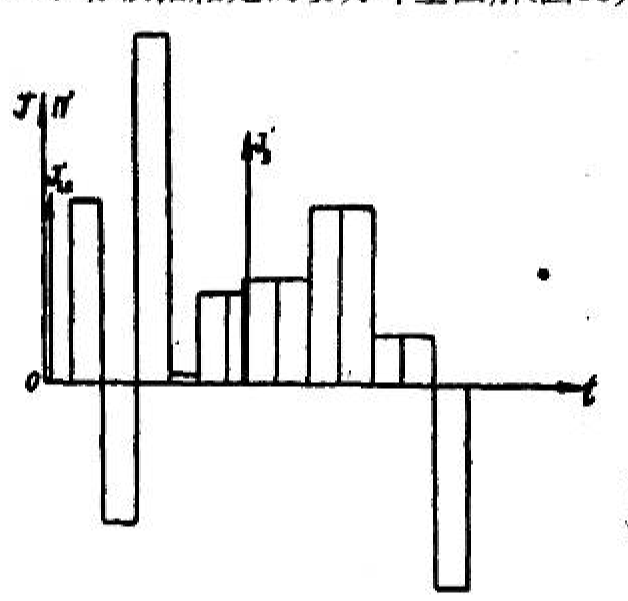


圖40 条件动力冲量圖解。

在中間圖上利用条件动力冲量圖解而获得的曲綫 $x=f(t)$ 是用实綫表示的。小圓圈表明利用給定的动力冲量圖解而获得的此曲綫各点。这些圖解作圖清楚地表明了利用条件动力冲量圖解来确定緩冲器工作时自动武器运动性質(用各种不同的緩冲器彈簧特征数)和确定后座力作用大小和性質的可能性。

圖41所列的圖解作圖还給出关于所应用的方法精度的概念。圖42和43中列有用近似圖解法求出的曲綫 $x=f(t)$ 和由于計算緩冲器工作并同时考虑到緩冲器工作和自动机工作相互影响所获得的曲綫 $x=f(t)$(虛綫)。

这些圖解表明，利用研究緩冲器工作的近似圖解分析法計算最大后座力和研究自动机和緩冲器工作时自动武器的运动是有足够的精确性的。

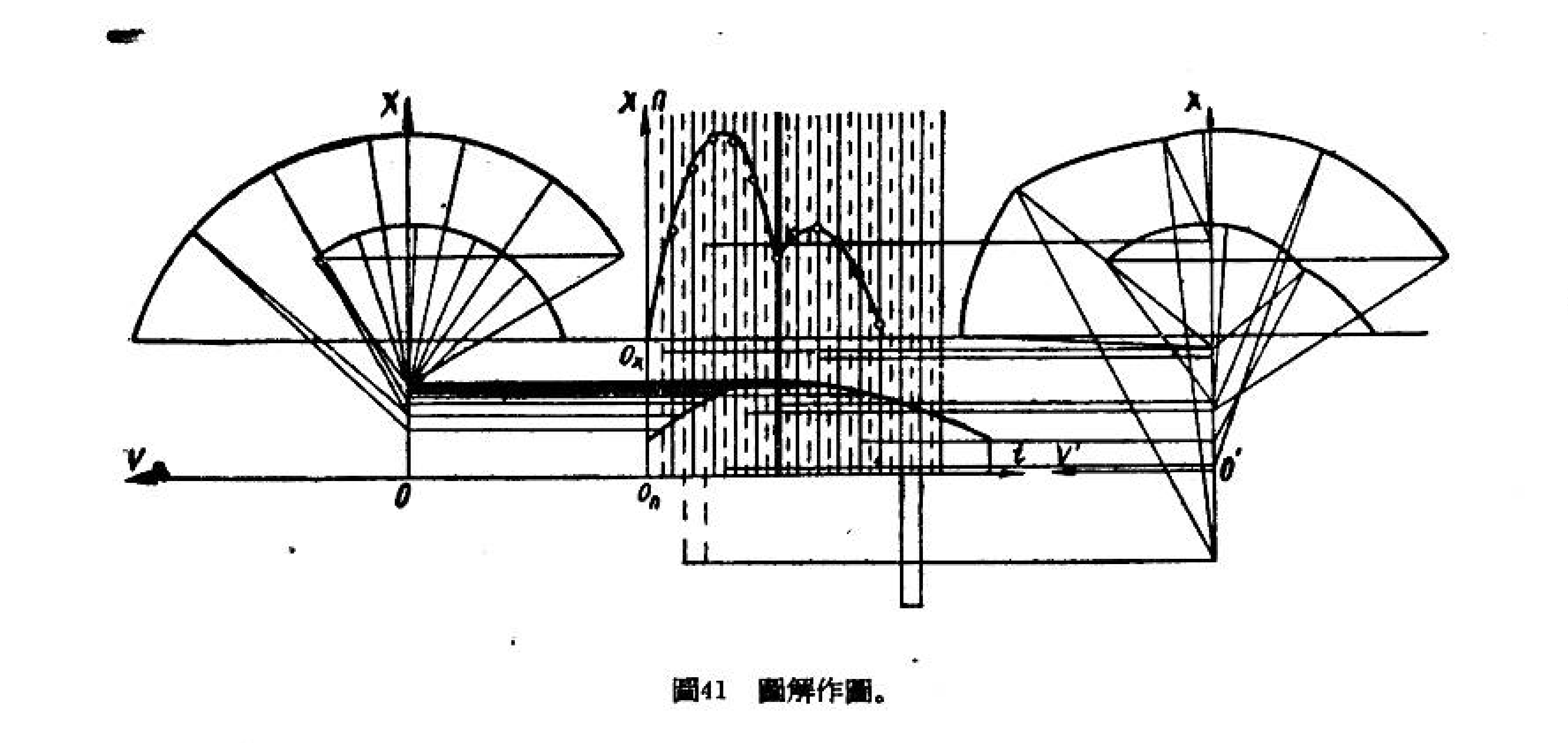


圖41 圖解作圖。

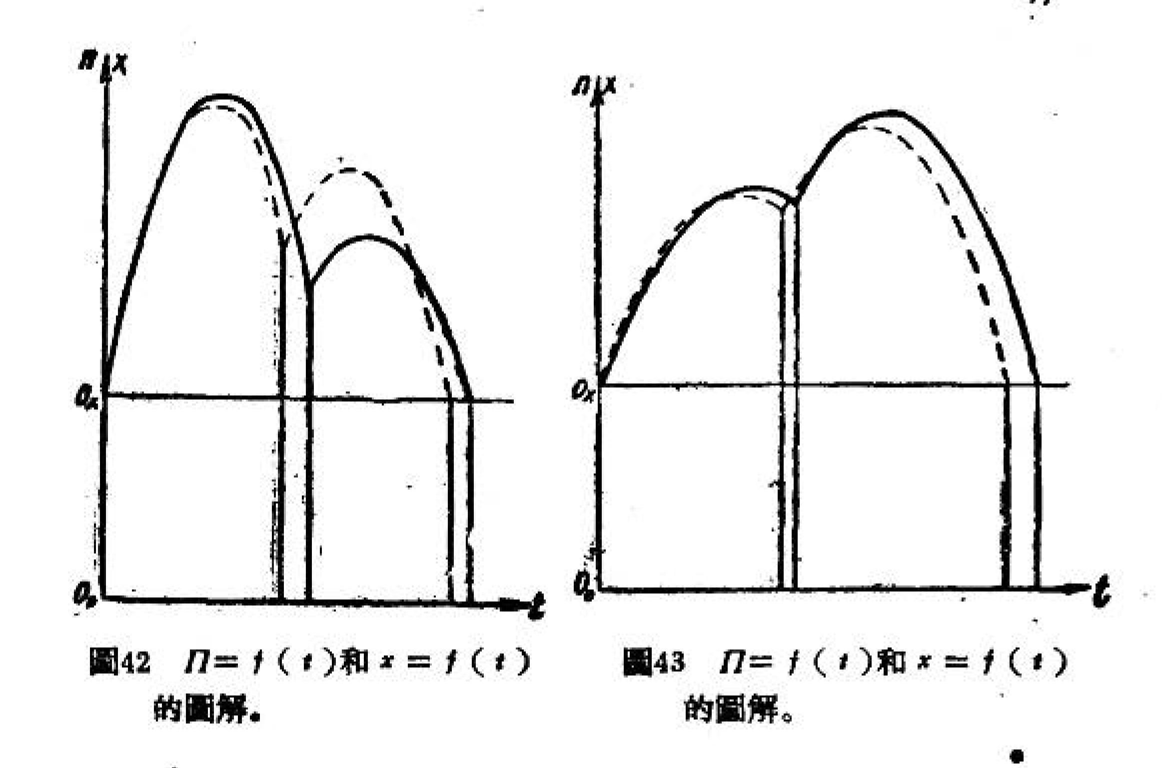


圖42 $\Pi=f(t)$和$x=f(t)$的圖解。

圖43 $\Pi=f(t)$和$x=f(t)$的圖解。

§3 武器緩冲对自动机工作的影响

我們研究一下自动武器緩冲器工作对自动机工作的影响。自动武器使用經驗証明，整个武器的連結条件（武器的剛性連結或緩冲連結）对自动机工作有显著的影响，能改变各机构工作可靠性，零件寿命和射击速度。

为了說明整个武器連結条件对自动机工作影响的实質，我們再討論一下导气式自动机工作原理圖。

研究这一种自动机工作时曾得出說明武器机匣在剛性連結条件下（圖8）和武器在彈性緩冲的条件下（圖13）为时間函数的槍机框位移座标圖解。

比較这些圖解（圖44）即可以看出，武器緩冲时自动机工作特点主要是槍机框向后运动的速度增大，槍机框絕对全位移增大和槍机框在后方位置时撞击前和撞击后的速度之比改变。

自动机工作的这些特点导致槍机框复进和后座运动时間比值改变并使自动机工作循环时間發生某些变化。对上述所研究的导气式自动机而言，武器的緩冲使槍机框向后运动时間減小22%。

同时，槍机框向前运动的时間少許增加。自动机工作循环时間减小了。这些結果不是偶然的，它表明武器緩冲对导气式自动机工作的影响的一定規律性（如果緩冲器工作循环时間小于自动机工作循环时間）。

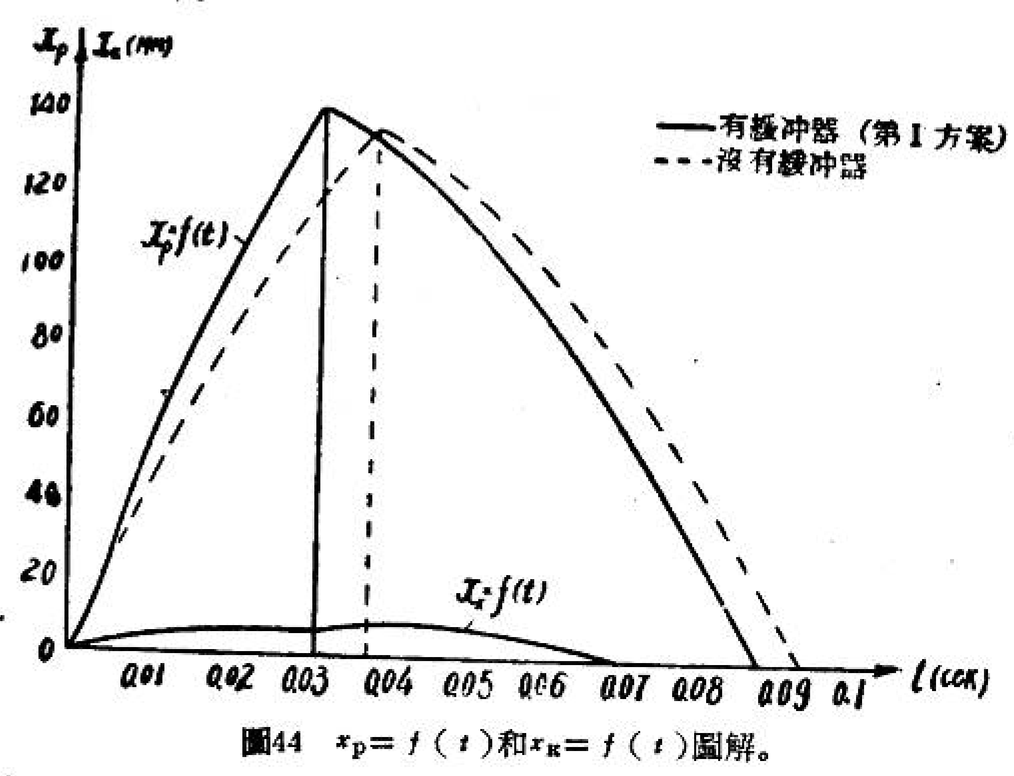


圖44 $x_p=f(t)$和$x_K=f(t)$圖解。

武器緩冲时槍机框向后运动的速度增大的原因是：当导气箍內的火藥气体压力开始作用时，以及槍机与槍机框連接的瞬間，整个武器發生了运动，因而使槍机框和槍机获得一些附加初速。

武器緩冲时槍机框全位移的增大是由当槍机框到达后方位置时武器机匣相对于發射时的位置通常發生移动（由于整个武器运动的結果）而决定的。

緩冲时，槍机框在后方位置撞击前和撞击后速度比值的改变是此撞击条件变化的結果，因为武器緩冲时槍机框在后方位置發生撞击的时候武器机匣亦获得某一附加速度。

圖1[illegible]所示的計算曲綫即說明用各种不同的緩冲器彈簧特征数时槍机框位移座标随时間变化的情形。这些曲綫說明緩冲条件对自动机工作的影响。

圖15所示的計算曲綫說明武器在剛性連結的条件下和武器緩冲时，并当自动机工作条件發生了变化的条件下(导气箍內的火藥气体压力作用强度減小了）槍机框位移座标随时間变化的情形。武器剛性連結在該情況下自动机工作的特点为槍机框到达后方位置时与机槍机匣不發生撞击。由圖（圖15）中可以看到，武器緩冲对自动机工作确有显著的影响：由于武器緩冲时槍机框速度增大的結果，使射击速度發生变化。

自动机在此情況工作时，槍机框在后方位置对机匣撞击后的速度絕对值比撞击前大，因为撞击前机槍槍机框与机匣是作相向运动。这主要是由于武器緩冲时自动机工作循环时間剧烈減小所致。

上面所列的圖解說明，当自动机工作循环时間大于緩冲器工作循环时間的情况下武器緩冲对自动机工作的影响。

如果自动机工作循环时間等于緩冲器工作循环时間，則發射时整个武器具有某一速度。武器的这一速度影响着槍机框的初速。如果在發射时整个武器的速度方向向后，那么槍机框的速度增大而自动机工作循环时間減小。此外，如果緩冲器工作循环时間等于自动机工作循环时間，那么槍机框向前运动时的絕对位移可能減小，因而縮短了自动机工作循环时間。

这些特点使武器緩冲对自动机的工作产生非常复杂的影响，在这种情况下不可能建立射击速度变化的一般規律和与緩冲有关的其他自动机工作特征数变化的一般規律。

圖20 б 所示的圖解說明导气式自动机的武器緩冲时（緩冲器工作循环时間等于自动机工作循环时間），槍机框位移座标随时間的变化情形。

分析一下这些圖解，便可以作出結論，如果在下一次發射的瞬間整个武器的速度方向向前，那么自动机的主要部分向后运动的时間将增大。反之，如果在下一次發射的瞬間整个武器的速度方向向后，該时間将減小。整个武器的运动对自动机工作的影响

使自动机連發时的工作不均匀。

圖21 *a* 所示圖解説明武器剛性連結和机槍緩冲时（緩冲器工作循环时間小于自动机工作循环时間），槍管后座式机槍的槍管和槍机位移座标随时間的变化。这些圖解清楚显示出武器連結条件对自动机工作的影响，特别表示出武器緩冲时，射击速度有所降低。

武器緩冲时（緩冲器工作循环时間小于自动机工作循环时間），射击速度的降低不是偶然的，而表明武器緩冲对槍管后座式自动机的工作影响的一个特点。此特点是由下面情况所决定的：在火藥气体压力作用时間內武器机匣的运动对自动机主要部分的运动（槍管和槍机的运动）实际上沒有显著影响，因为自动机的这些部分开始运动比火藥气体压力对与武器机匣相連結的槍口帽作用的时間早。

自动机工作循环时間对于所研究的緩冲器工作条件来講，通常是改变的。这是由于自动机主要部分对机槍机匣的撞击条件的改变以及自动机主要部分（槍管和槍机）絕对位移的增大的緣故。

对于武器緩冲来講，自动机主要部分撞击条件的改变（与武器剛性連結相比較时）对撞击后速度值影响不同，这視撞击前和撞击后机槍机匣和自动机主要部分的速度方向和数值而定。然而对于槍管后座式机槍的自动机工作来講，自动机主要部分和机槍机匣在撞击前和撞击后的速度值和方向通常能保証自动机主要部分（槍管和槍机）向前运动时的速度减小。这就增大了运动的时間。

自动机主要部分向前运动的时間的增大是自动机工作循环时間增大的主要原因，也是武器在緩冲的条件下射击速度减小的主要原因。武器緩冲时，因整个武器位移而引起的槍机絕对位移的增大也能使自动机工作循环时間增大。

如果緩冲器工作循环时間等于自动机工作循环时間，那么整

个武器在發射瞬間由于前一次發射时緩冲器工作的結果而具有的速度，对自动机主要部分的运动亦产生影响。在該种情况下，自动机主要部分运动开始时有一个初速，此初速就是整个武器在發射瞬間所具有的初速。

圖21（б，в，г）所示的圖解說明在各种緩冲情况下自动机主要部分（槍管和槍机）位移座标以时間为函数的变化。此时緩冲器工作循环时間等于自动机工作循环时間。

分析一下这些圖解，便可以看出，如果在發射时整个武器的速度方向向前，那么自动机工作循环时間显著增大。反之，如果在發射时整个武器的速度方向向后，那么自动机工作循环时間减小。在这方面自动机工作的最有代表性的情况示于速度圖中（圖21г）。

如果緩冲器工作循环时間等于自动机工作循环时間，則自动机主要部分的絕对位移亦取决于整个武器的运动性質并且具有不同的变化。

所有这些使武器緩冲对自动机的工作有不稳定的影响，并且不可能确定出此影响的一般規律。

上述的关于武器緩冲对自动机工作的影响的見解表明此影响的質和量方面的問題。

質方面的影响証明，武器自动机原理不同，緩冲对自动机工作条件的影响也不同。如果自动机为槍管后座式之武器的緩冲使射击速度减小，使射击时的故障减少，并使零件的寿命增長，則导气式自动机的武器的緩冲使射击速度增大，因而使武器零件寿命縮短，使射击时的故障增多。

应該指出，武器緩冲在質的方面对自动机工作的影响这一特点只符合于或接近于緩冲器彈簧具有較小的預压力和較小的剛度的緩冲条件。

应用彈簧剛度大的緩冲器或其他彈性零件时，武器緩冲在質的方面对自动机工作影响的情况可能与此不同。

武器緩冲在数量方面对自动机工作的影响証明，緩冲对武器所有特征数的影响都是很大的，在作所有各种自动武器的試験和研究时都应該考虑到这种影响。

特别是在数量方面所得结果表明，計算自动机时如不考虑整个武器的运动，则在理想条件下武器緩冲所得之自动机工作特征数与实际值将大不相同。

第二章　自动武器的射击稳定性

§1　射击时武器稳定性的概念

在自然的射击条件下以一定的精确度保持射击前所赋与的位置的能力叫做自动武器的稳定性。

由此定义应当看出，在談到自动武器稳定性的时候若避而不談它与槍座或射手的关系是不可能的。因此，在說明稳定性时一定要指出射击条件（支持在肩上射击或架設于槍架或槍座上射击）。

自动武器的稳定性对射击精度有很大的影响，但是射击精度并不完全取决于自动武器的稳定性，因为射击精度在很大的程度上还取决于槍弹的性能，槍管的振动等。

由于射击精度受稳定性的影响很大，因此可以利用精度的某些特征数（射击密集度）来說明射击时武器的稳定性。

但是，由于上述的原因，射击密集度不能完全表明任何一种自动武器射击时的稳定性。

連發射击的手提式自动武器（自动步槍，輕机槍）的射击密集度几乎完全决定于射击时武器的稳定性。重机槍的射击密集度与射击时武器的稳定性也有很大的关系，虽然它还取决于其他的因素。

自动武器的稳定性可以用理論的方法和試驗的方法来研究。

武器稳定性的試驗研究在于記录射击时武器的空間位移。此記录可以用各种不同的方法来进行。

对自动武器的稳定性作試驗研究时消除与射手有关的各种偶然因素对武器稳定性的影响，保証各种条件下皆能获得稳定的射击結果是非常重要的。为此，可以把武器安在模拟射手或槍架而

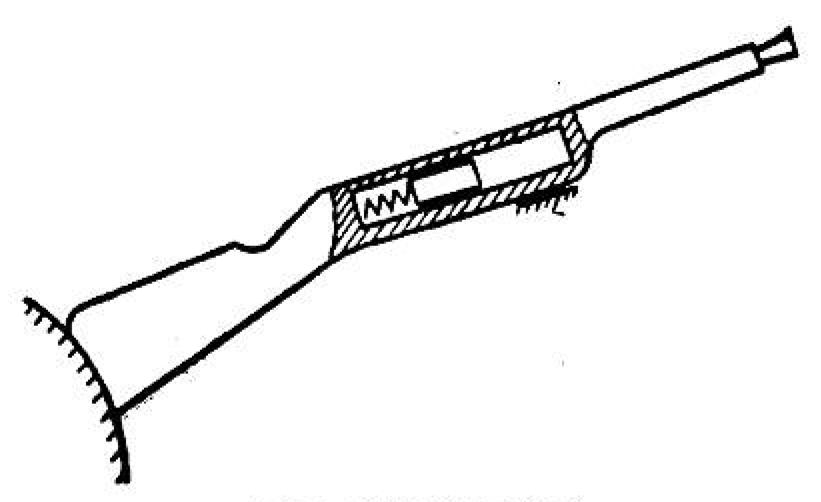


圖45 手提武器原理圖。

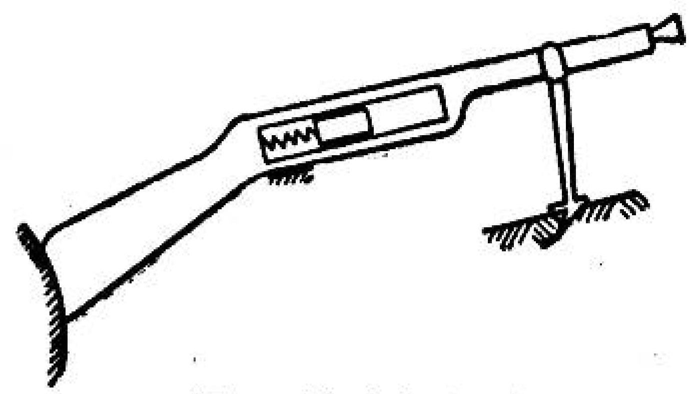


圖46 手提武器原理圖。

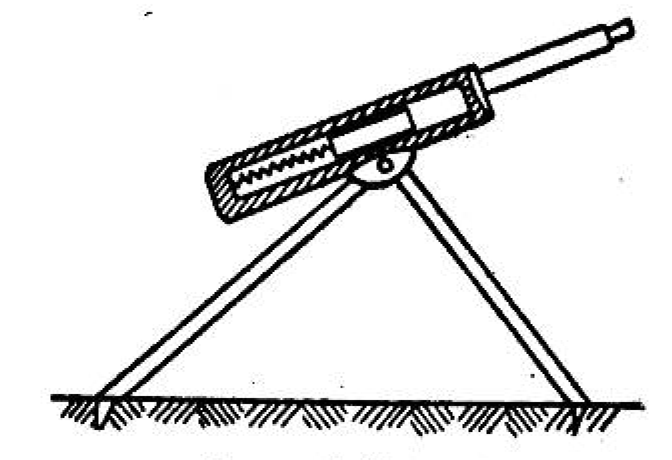


圖47 重机槍原理圖。

制造的專用仪器上。

对自动武器在射击时稳定性作理論研究时考虑影响稳定性的所有主要因素是非常重要的，而对稳定性影响不大的許多因素可以忽略不計。

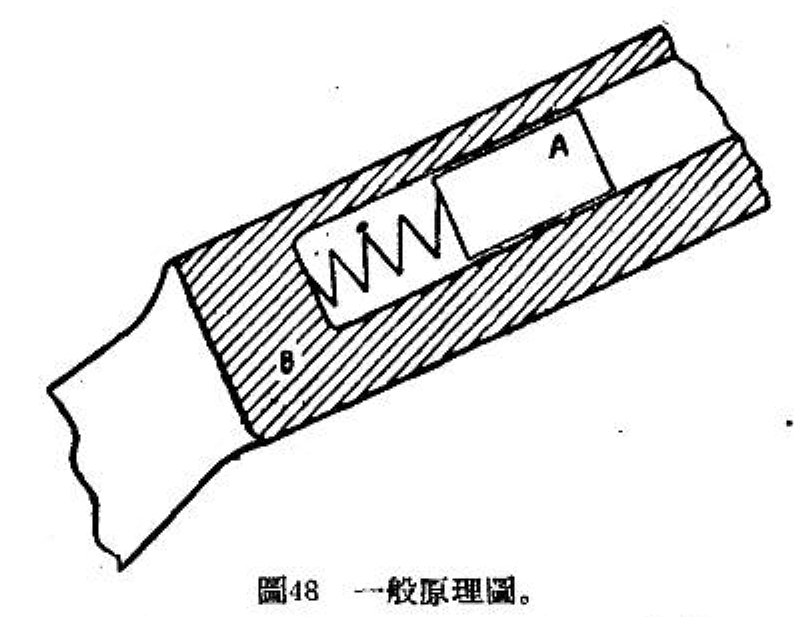


圖48 一般原理圖。

后者对于簡化理論研究是很重要的，因为在进行理論研究时只考慮主要因素仍然是相当复杂的。

研究一下手提武器和重机槍的射击条件，并分析一下自动机活动部分和整个武器运动配合的具体原理圖（圖45，46，47），便可建立簡化的原理圖，如果采用某些假設，则这些簡單的原理圖就可以代替眞实的圖。

为了說明連續射击时影响自动武器射击稳定性的主要因素我們討論一下最簡單的原理圖（圖48），因为眞正的自动武器主要机构圖可以近似地化成这样的原理圖。

同时，分別研究一下自动机活动部分的撞击和自动机活动部分的平稳运动（沒有撞击的运动）对武器稳定性的影响。

§2 自动机各部分的撞击对射击时自动武器稳定性的影响

为了說明自动机各部分的撞击对射击时自动武器稳定性的影响，我們討論一下圖49所示的原理圖。

在这一略圖上构件 A（槍机，槍管或槍机框）在定向构件 B（机匣）上移动并在 b 点上与构件 B 撞击。我們首先假設，撞击时所产生的冲量作用在同一平面內，而构件 A 与 B 的質量中心



（点 A 和点 B）亦在此平面內，而槍膛軸綫的方向是水平的。

圖 49 上的 x_{A1}、x_{A3}、y_{A2} 表示冲量 I_1、I_2、I_3 对构件 A（点 A）質心的座标，而 x_{B1}、x_{B3}、y_{B2} 表示上述冲量作用点对构件 B 質心（B 点）的座标。ξ 和 h 表示构件 A 的質心（点 A）对构件 B

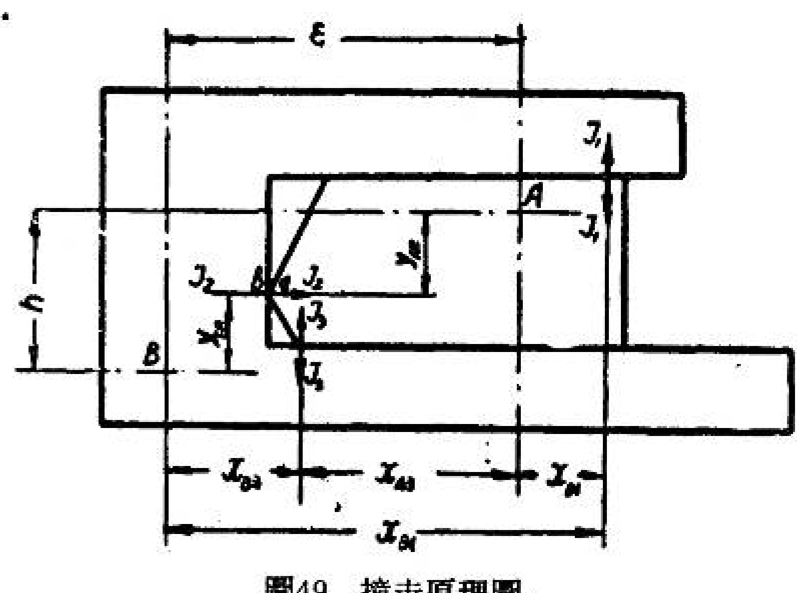


圖49　撞击原理圖。

質心（点 B）的座标。利用古典的撞击理論，除撞击时所引起之反作用力外，其他諸力均忽略不計，便于写出求每个构件动量矩方程如下：

$$I_A(\omega' - \omega) = I_2 y_{A2} - I_1 x_{A1} - I_3 x_{A3}, \quad (1)$$

$$I_B(\omega' - \omega) = I_1 x_{B1} - I_2 y_{B2} - I_3 x_{B3}, \quad (2)$$

每个构件的質心动量在水平方向和垂直方向上的改变量等于力的冲量投影之和

$$M_A(V'_{Ax} - V_{Ax}) = -I_2; \quad (3)$$

$$M_A(V'_{Ay} - V_{Ay}) = I_3 - I_1; \quad (4)$$

$$M_B(V'_{Bx} - V_{Bx}) = I_2; \quad (5)$$

$$M_B(V'_{By} - V_{By}) = I_1 - I_3; \quad (6)$$

式中　　ω 和 ω'——撞击前和撞击后构件 A 和 B 的角速度；

I_A；I_B——构件 A 和 B 对构件質心的轉动慣量；

V_{Ax}；V'_{Ax}；V_{Bx}；V'_{Bx}——撞击前和撞击后构件 A 和 B 的質心速度在水平軸 x 上的投影；

V_{Ay}；V_{By}；V'_{Ay}；V'_{By}——撞击前和撞击后构件 A 和 B 的質心速度在垂直軸上的投影；

M_A；M_B——构件 A 和 B 的質量。

把方程式（1）和（2）的右边和左边相加，則得

$$(I_A+I_B)(\omega'-\omega)=I_2(y_{A2}+y_{B2})+I_1(x_{B1}-x_{A1})-I_3(x_{A3}+x_{B3})。$$

但

$$y_{A2}+y_{B2}=h；\ x_{B1}-x_{A1}=\xi；\ x_{A3}+x_{B3}=\xi。$$

因而，后一方程式可以写成：

$$I(\omega'-\omega)=I_2h+(I_1-I_3)\xi, \tag{7}$$

式中

$$I=I_A+I_B。$$

利用方程式（3），（4），（5），（6）并消去未知的約束反作用力，則得

$$I(\omega'-\omega)=M_A[h(V_{Ax}-V'_{Ax})+\xi(V_{Ay}-V'_{Ay})]; \tag{8}$$

$$M_A(V_{Ax}-V'_{Ax})+M_B(V_{Bx}-V'_{Bx})=0; \tag{9}$$

$$M_A(V_{Ay}-V'_{Ay})+M_B(V_{By}-V'_{By})=0。 \tag{10}$$

除这些公式外，还可以利用計算恢复系数的公式

$$\frac{V'_{ax}-V'_{bx}}{V_{ax}-V_{bx}}=-b \tag{11}$$

式中　b——构件 A 和 B 在点 a 和点 b 上撞击时的恢复系数；

V_{ax}；V'_{ax}——撞击前和撞击后构件 A 的点 a 速度在水平軸上的投影；

V_{bx}；V'_{bx}——撞击前和撞击后构件 B 的点 b 速度在水平軸上的投影。

計算恢复系数的公式（11）应該由所研究的构件質心的速度表示。为此目的，我們討論一下原理圖（圖 50），在此圖上示有

撞击前和撞击后点 A，B，a，b 的速度，并指出撞击前（O_A 和 O_B 点）和撞击后（O'_A 和 O'_B 点）构件 A 和 B 瞬时迴轉軸的位置。瞬时迴轉軸（O_A 和 O_B，以及 O'_A 和 O'_B）在垂直綫的位置配置根据是：点 a 和点 b 速度的垂直分速无論是在撞击前和撞击后都是相等的，虽然，撞击时这些速度是在变化的。

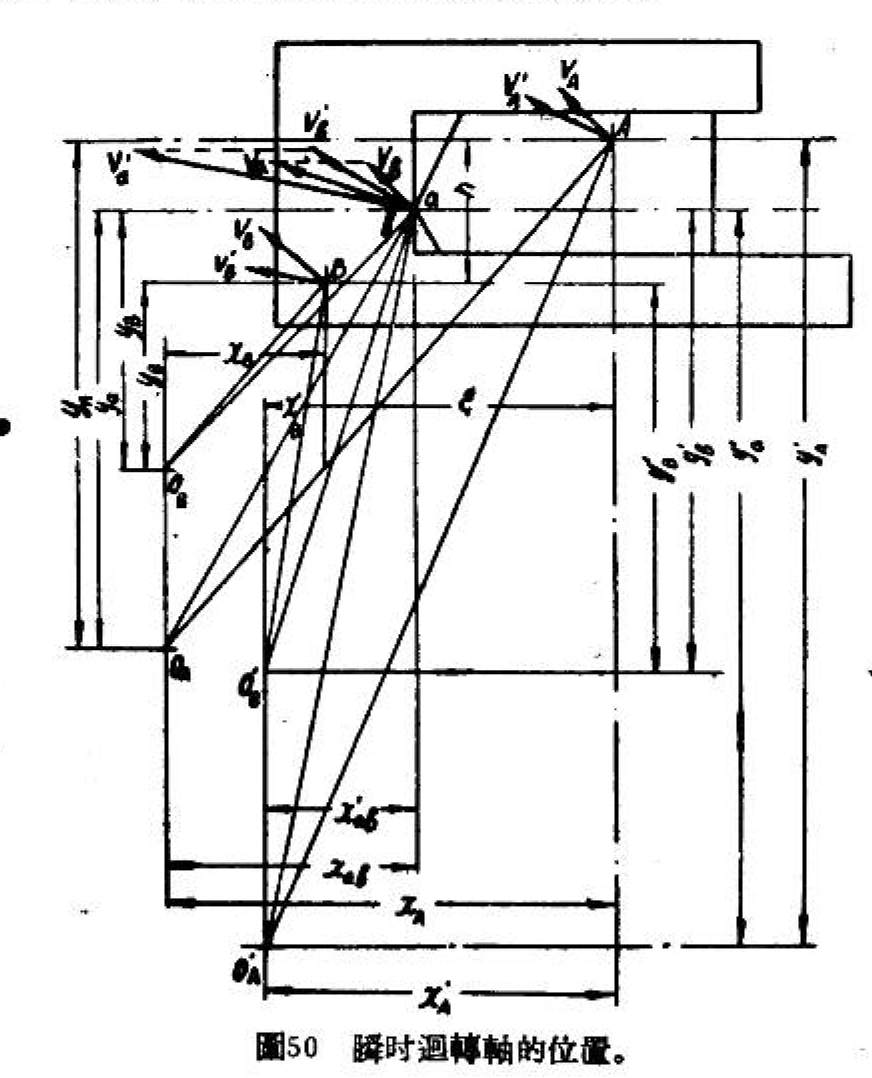


圖50　瞬时迴轉軸的位置。

利用原理圖（圖 50），就可以写出撞击前和撞击后的速度方程：

$$\frac{V_{ax}}{y_a}=\frac{V_{Ax}}{y_A}=\omega;\qquad \frac{V'_{ax}}{y'_A}=\frac{V'_{Ax}}{y'_A}=\omega';$$

$$\frac{V_{bx}}{y_b}=\frac{V_{Bx}}{y_B}=\omega;\qquad \frac{V'_{bx}}{y'_b}=\frac{V'_{Bx}}{y'_B}=\omega'。$$

由这些等式中求出

$$V_{ax}=\omega y_a;\quad V_{bx}=\omega y_b;$$

$$V_{Ax}=\omega y_A;\quad V_{Bx}=\omega y_B。$$

卽

$$V_{ax}-V_{bx}=\omega(y_a-y_b)=\omega(O_AO_B),$$

$$V_{Ax}-V_{Bx}=\omega(y_A-y_B)=\omega(O_AO_B+h)。$$

因而，

$$V_{Ax}-V_{Bx}+V_{bx}-V_{ax}=\omega h$$

或

$$V_{ax}-V_{bx}=V_{Ax}-V_{Bx}-\omega h。\tag{12}$$

同样可以写出求撞击后的速度的公式

$$V'_{ax}-V'_{bx}=V'_{Ax}-V'_{Bx}-\omega' h。\tag{13}$$

将所求得的速度差值代入求恢复系数的公式中，则得

$$\frac{V'_{ax}-V'_{bx}}{V_{ax}-V_{bx}}=\frac{V'_{Ax}-V'_{Bx}-\omega' h}{V_{Ax}-V_{Bx}-\omega h}=-b。\tag{14}$$

此公式亦可写成如下的形式:

$$\frac{V_{Ax}-V'_{Ax}-(V_{Bx}-V'_{Bx})-(\omega-\omega')h}{V_{Ax}-V_{Bx}-\omega h}=1+b\tag{15}$$

但，由公式（9）可得

$$V_{Bx}-V'_{Bx}=-\frac{M_A}{M_B}(V_{Ax}-V'_{Ax})。$$

将 $V_{Bx}-V'_{Bx}$ 值代入公式（15），則得

$$\frac{(V_{Ax}-V'_{Ax})\left(1+\frac{M_A}{M_B}\right)-(\omega-\omega')h}{V_{Ax}-V_{Bx}-\omega h}=1+b。\tag{16}$$

現在有四个方程式（8），（9），（10），（16），其中含有五个未知速度 ω'; V'_{Ax}; V'_{Ay}; V'_{Bx}; V'_{By}。

为了得到求这些速度所必需的第五个方程式，我們还要利用原理圖（圖 50）。

根据此原理圖可以写出下列等式:

$$\frac{V_{Ay}}{x_A}=\omega;\quad \frac{V'_{Ay}}{x'_A}=\omega';\quad \frac{V_{By}}{x_B}=\omega;\quad \frac{V'_{By}}{x'_B}=\omega'$$

我們利用这些等式，便可求出

$$V_{Ay}-V_{By}=\omega(x_A-x_B);\quad V'_{Ay}-V'_{By}=\omega'(x'_A-x'_B),$$

但 $$x_A - x_B = \xi \text{ 和 } x'_A - x'_B = \xi。$$

即

$$V_{Ay} - V_{By} = \omega\xi;\ \ V'_{Ay} - V'_{By} = \omega'\xi。$$

由此求出

$$V_{Ay} - V'_{Ay} - (V_{By} - V'_{By}) = (\omega - \omega')\xi。$$

但，由公式（10）可得:

$$V_{By} - V'_{By} = -\frac{M_A}{M_B}(V_{Ay} - V'_{Ay})。$$

因而，

$$(V_{Ay} - V'_{Ay})\left(1 + \frac{M_A}{M_B}\right) = (\omega - \omega')\xi。\tag{17}$$

将 $V_{Ay} - V'_{Ay}$ 值代入公式（8）中，則得

$$I(\omega' - \omega) = M_A h(V_{Ax} - V'_{Ax}) - \frac{M_A M_B}{M_A + M_B}(\omega' - \omega)\xi^2$$

或

$$\left(I + \frac{M_A M_B}{M_A + M_B}\xi^2\right)(\omega' - \omega) = M_A h(V_{Ax} - V'_{Ax})。\tag{18}$$

我們利用公式（18）和（16）可求出

$$\omega' - \omega = W_0(1 + b)\frac{1}{h}\ \frac{\alpha}{1 + \alpha},\tag{19}$$

式中引用下列符号:

$$W_0 = V_{Ax} - V_{Bx} - \omega h,$$

$$\alpha = \frac{h^2}{I\left(\frac{M_A + M_B}{M_A M_B}\right) + \xi^2}$$

利用公式（18），（17），（9），（10）可得:

$$V'_{Ax} - V_{Ax} = -\frac{W_0(1 + b)}{1 + \frac{M_A}{M_B}}\ \frac{1}{1 + \alpha};\tag{20}$$

$$V'_{Ay} - V'_{Ay} = \frac{W_0(1 + b)}{1 + \frac{M_A}{M_B}}\ \frac{\xi}{h}\ \frac{\alpha}{1 + \alpha};\tag{21}$$

$$V'_{Bx} - V_{Bx} = \frac{W_0(1 + b)}{1 + \frac{M_B}{M_A}}\ \frac{1}{1 + \alpha};\tag{22}$$

$$V'_{By}-V_{By}=-\frac{W_0(1+b)}{1+\frac{M_B}{M_A}}\cdot\frac{\xi}{h}\cdot\frac{\alpha}{1+\alpha}。\qquad (23)$$

利用公式（19～23）可以求出質心的綫速度在水平軸和垂直軸上的投影的改变量和撞击时所研究的物体角速度改变量。

研究自动机工作中自动武器稳定性对射击精度的影响时，最重要的是确定首先取决于撞击时角速度改变量的武器轉角。

因此，我們詳細地研究一下公式（19）并分析一下影响角速度改变量 $\omega'-\omega$ 的諸数值。

从公式（19）可得出結論，第一，当 $W_0=V_{Ax}-V_{Bx}-\omega h=0$ 时，第二，当 $h=0$ ● 时，$\omega'-\omega$ 值等于零。第一个条件說明沒有撞击，第二个条件說明两个撞击体的質心位于同一水平綫上。

任何一个方程式中都不包含所研究的两个物体撞击点座标，因而，所研究的这两个物体撞击点座标不影响撞击时速度的改变，指出这一点是很有意思的。

我們分析一下所获得的許多方程式中含有的 $\frac{1+\alpha}{\alpha}$ 值。

代入之后，則得

$$\frac{H\alpha}{\alpha}=\frac{1+\frac{M_AM_B}{M_A+M_B}(\xi^2+h^2)}{\frac{M_AM_B}{M_A+M_B}h^2}。\qquad (24)$$

此分数的分子表示两个撞击体对其公共質心的轉动慣量。

实际上，利用原理圖（圖 51）可以建立求两个撞击体質心座标的等式如下：

$$x_{BC}M_B=x_{AC}M_A,\quad y_{BC}M_B=y_{AC}M_A,$$

或

$$x_{BC}(M_A+M_B)=\xi M_A,$$
$$y_{BC}(M_A+M_B)=hM_A,$$

由此

$$x_{BC}=\frac{M_A}{M_A+M_B}\xi;$$

● 将 α 值代入公式（19）中之后，便可証实这一点。

$$y_{BC}=\frac{M_A}{M_A+M_B}h。$$

两个撞击零件对其公共質心（C点）的轉动慣量为：

$$I_C=I_A+I_B+M_B(x_{BC}^2+y_{BC}^2)+M_A[(\xi-x_{BC})^2+(h-y_{BC})^2]$$

将 x_{BC} 和 y_{BC} 值代入之后，则得

$$I_C=I_A+I_B+\frac{M_A^2M_B}{(M_A+M_B)^2}(\xi^2+h^2)+\frac{M_AM_B^2}{(M_A+M_B)^2}(\xi^2+h^2)。$$

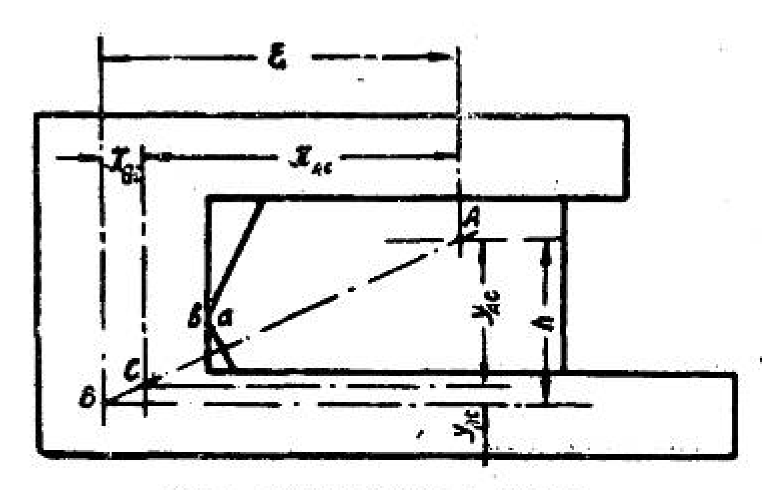


圖51　确定公共質心之原理圖。

由此，求出

$$I_C=I_A+I_B+\frac{M_AM_B}{M_A+M_B}(\xi^2+h^2)=I+\frac{M_AM_B}{M_A+M_B}(\xi^2+h^2)。$$

因而，

$$\frac{1+\alpha}{\alpha}=\frac{I_C}{\frac{M_AM_B}{M_A+M_B}h^2}=\frac{I_C}{M_B\,h\,y_{BC}}。$$

将所求得的$\frac{1+\alpha}{\alpha}$值代入公式（19）中，则得：

$$I_C(\omega'-\omega)=W_0(1+b)M_By_{BC}$$

或

$$I_C(\omega'-\omega)=W_0(1+b)M_Ay_{AC}。$$

上述的两个物体撞击的最簡單原理圖，可以代替自动机各部分在后方位置和前方位置时撞击的真实原理圖，并可以代替在火藥气体压力作用期整个武器运动和自动机各部分运动的真实原理圖（如果自动机的工作是以导气式原理为基础的）。在后一种情

况下，必須引用恢复系数的虚拟值。此虚拟值是根据研究武器在刚性連結条件下自动机的工作所得的試驗数据而求出的。

$$\frac{W'}{W}=-b',$$

式中 W'——火藥气体作用結束后，自动机活动部分离开前方位置时的速度；

W——發射前，自动机活动部分到达前方位置时的速度。

我們看出，b'值大于1。

如果發射前，自动机活动部分位于前方位置（發射前，自动机活动部分对于武器机匣的速度等于零），則

$$W_0=V_{Ax}-V_{Bx}-\omega h=0$$

和

$$1+b=\frac{(V_{Ax}-V'_{Ax})\left(1+\frac{M_A}{M_B}\right)-(\omega-\omega')h}{V_{Ax}-V_{Bx}-\omega h}=\infty。$$

在这种情况下为了求出撞击后的速度，需要把下列值代入公式（19～23）中：

$$W_0(1+b)=(V_{Ax}-V'_{Ax})\left(1+\frac{M_A}{M_B}\right)-(\omega-\omega')h。$$

此时，将公式（19～23）化为如下形式

$$\omega'-\omega=(V_{Ax}-V'_{Ax})\left(1+\frac{M_A}{M_B}\right)\frac{\alpha}{h};\qquad(19\text{a})$$

$$V'_{Ay}-V_{Ay}=(V_{Ax}-V'_{Ax})\frac{\xi}{h}\alpha;\qquad(21\text{a})$$

$$V'_{Bx}-V_{Bx}=(V_{Ax}-V'_{Ax})\frac{M_A}{M_B};\qquad(22\text{a})$$

$$V'_{By}-V_{By}=(V_{Ax}-V'_{Ax})\frac{M_A}{M_B}\frac{\xi}{h}\alpha。\qquad(23\text{a})$$

如果知道点A的絕对速度V_{Ax}和V'_{Ax}，应用这些公式是很方便的。

如果知道A点对B点的速度

$$V_{Ax}-V_{Bx}-\omega h \text{ 和 } V'_{Ax}-V'_{Bx}-\omega' h,$$

則最好应用下一公式

$$1+b=\frac{V_{Ax}-V'_{Ax}-(V_{Bx}-V'_{Bx})-(\omega-\omega')h}{V_{Ax}-V_{Bx}-\omega h}。$$

将乘积

$$(1+b)(V_{Ax}-V_{Bx}-\omega h)=[V_{Ax}-V'_{Ax}-(V_{Bx}-V'_{Bx})-(\omega-\omega')h],$$

代入公式（19～23），則得

$$\omega'-\omega=\psi\frac{1}{h}\frac{\alpha}{1+\alpha};$$

$$V'_{Ax}-V_{Ax}=-\frac{\psi}{1+\frac{M_A}{M_B}}\frac{1}{1+\alpha};$$

$$V'_{Bx}-V_{Bx}=\frac{\psi}{1+\frac{M_B}{M_A}}\frac{1}{1+\alpha};$$

$$V'_{Ay}-V_{Ay}=\frac{\psi}{1+\frac{M_A}{M_B}}\frac{\xi}{h}\frac{\alpha}{1+\alpha};$$

$$V'_{By}-V_{By}=-\frac{\psi}{1+\frac{M_B}{M_A}}\frac{\xi}{h}\frac{\alpha}{1+\alpha},$$

式中

$$\psi=V_{Ax}-V'_{Ax}-(V_{Bx}-V'_{Bx})-(\omega-\omega')。$$

公式(19～23)还可用来計算受冲量載荷作用的物体的速度。

例如，如果冲量載荷 i 沿 x 軸的方向作用于物体 B 上，那么，为了求出物体 B 的質心速度在座标軸上的投影（V'_{Bx} 和 V'_{By}）和物体 B 对于質心的角速度 ω'，要取

$$M_A=0;\ V_{Ax}=\infty;\ b=0;\ M_AV_{Ax}=i。$$

此时，将有 $\alpha=0$；$\frac{\alpha}{1+\alpha}=\frac{M_A}{I}h^2$ 而公式（19，22，23）可以写成如下的形式：

$$\omega'-\omega=\frac{ih}{I}; \quad (19б)$$

$$V'_{Bx}-V_{Bx}=\frac{i}{M_B}; \quad (22б)$$

$$V'_{By}-V_{By}=0。 \quad (23б)$$

确定在实际射击条件下自动机活动部分的各种撞击对手提式自动武器的稳定性的影响时，可以利用所討論的撞击圖。

下面我們按照另外两种原理圖来研究撞击。这些圖能够説明安装在專用槍架上的手提式武器自动机活动部分的各种撞击情况（圖52）以及重机槍自动机活动部分的各种撞击情况（圖 53）（考虑到和不考虑土壤的彈性）。

对于圖 54 所示的撞击圖来講，可以写出如下的动量方程式：

$$I_A(\omega' - \omega) = I_1 x_{A1} + I_2 x_{A2};$$

$$I_B(\omega' - \omega) = I_2 x_{B2} - I_1 x_{B1} + Ih - I_0 x_B;$$

$$M_A(V'_{Ay} - V_{Ay}) = I_1 - I_2;$$

$$M_B(V'_{Bx} - V_{Bx}) = -M_A(V'_{Ax} - V_{Ax}) = I;$$

$$M_B(V'_{By} - V_{By}) = -I_1 + I_2 + I_0。$$

在这些方程式中：

I_A，I_B——撞击体对其質心的轉动慣量；

M_A，M_B——撞击体的質量；

ω，ω'——撞击前和撞击后对于撞击体質心的角速度；

V_{Ax}；V_{Ay}；V_{Bx}；V_{By}
V'_{Ax}；V'_{Ay}；V'_{Bx}；V'_{By}——撞击体質心速度在座标軸上的投影；

I_1；I_2；I；I_0——圖 54 所示的冲量；

x_B；x_{A1}；x_{A2}；x_{B1}；x_{B2}——圖 54 所示的座标。

上述前两个方程式給出

$$(I_A + I_B)(\omega' - \omega) = (I_2 - I_1)\xi + Ih - I_0 x_B。 \tag{25}$$

利用其余方程式可得：

$$(I_A + I_B)(\omega' - \omega) = -M_A\xi(V'_{Ay} - V_{Ay}) - \\ -M_A h(V'_{Ax} - V_{Ax}) - M_B x_B(V'_{By} - V_{By}) - \\ -M_A x_B(V'_{Ay} - V_{Ay})。 \tag{26}$$

式中 h 和 ξ——物体 A 的質心相对于物体 B 的質心的座标。

对于所研究的原理圖来講

$$\frac{V_{Ay}}{x_A} = \frac{V_{By}}{x_B} = \omega, \quad \frac{V'_{Ay}}{x_A} = \frac{V'_{Ay}}{x_B} = \omega'。$$

由这些等式可得

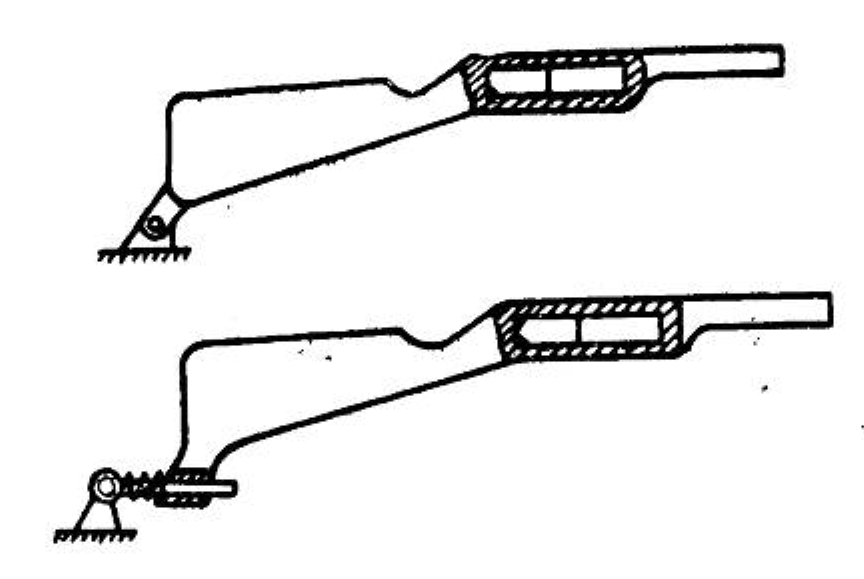


圖52　手提式武器的可能連結圖。

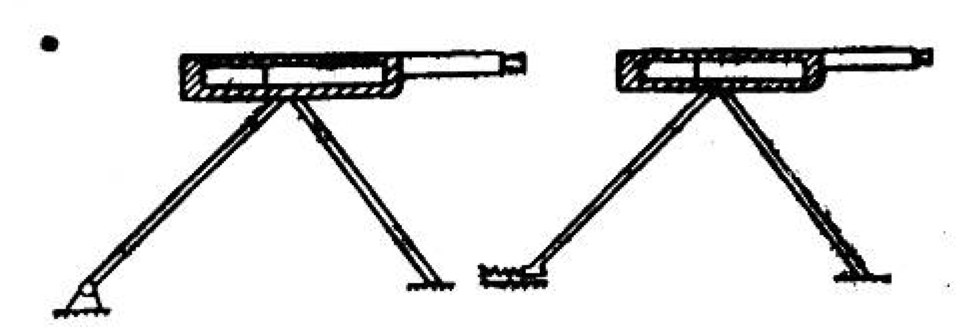


圖53　重机槍的可能連接圖。

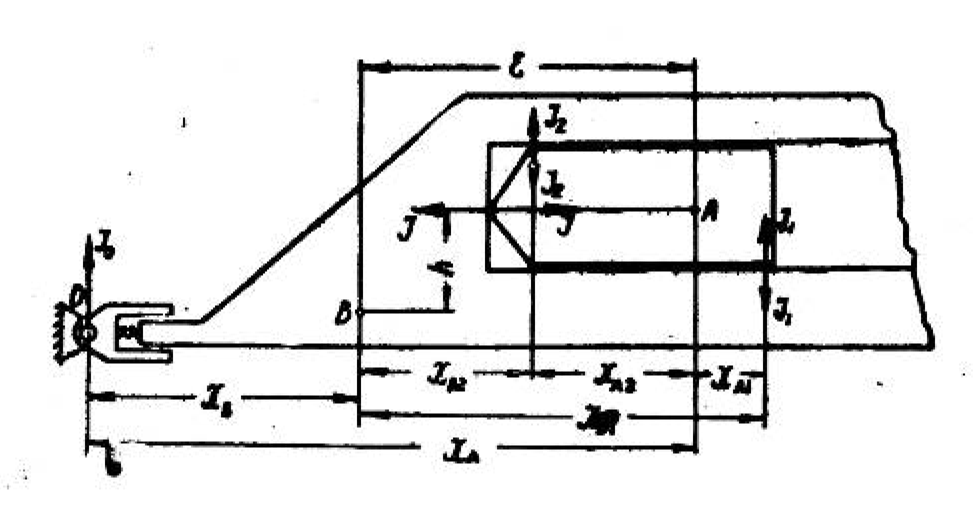


圖54　撞击圖。

$$V'_{Ay}-V_{Ay}=(\omega'-\omega)x_A;$$

$$V'_{By}-V_{By}=(\omega'-\omega)x_B。$$

因而，

$$(I_A+I_B)(\omega'-\omega)=-M_A\xi x_A(\omega'-\omega)-M_Ah(V'_{Ax}-V_{Ax})$$
$$-M_Bx_B^2(\omega'-\omega)-M_Ax_Ax_B(\omega'-\omega)$$

或

$$(I_A+I_B)(\omega'-\omega)=-M_Ax_A^2(\omega'-\omega)-M_Bx_B^2(\omega'-\omega)$$
$$-M_Ah(V'_{Ax}-V_{Ax}) \tag{27}$$

由此，

$$(I_A+I_B+M_Ax_A^2+M_Bx_B^2)(\omega'-\omega)=-M_Ah(V'_{Ax}-V_{Ax})。 \tag{28}$$

对于碰撞点的恢复系数，可以写出如下公式：

$$\frac{V_{Ax}-V'_{Bx}-\omega' h}{V_{Ax}-V_{Bx}-\omega h}=-b,$$

由此，

$$-(V'_{Ax}-V_{Ax})+(V'_{Bx}-V_{Bx})+(\omega'-\omega)h=(1+b)W,$$

式中 $$W=V_{Ax}-V_{Bx}-\omega h,$$

但 $$(V'_{Bx}-V_{Bx})M_B=-M_A(V'_{Ax}-V_{Ax})。$$

就是説

$$-(V'_{Ax}-V_{Ax})\left(1+\frac{M_A}{M_B}\right)+(\omega'-\omega)h=W(1+b)。$$

利用后一方程式，可得：

$$\left(I_A+I_B+M_Ax_A^2+M_Bx_B^2+\frac{M_AM_B}{M_A+M_B}h^2\right)(\omega'-\omega)$$
$$=\frac{W(1+b)M_Ah}{1+\frac{M_A}{M_B}}。 \tag{29}$$

由此求出

$$\omega'=\omega+\frac{(1+b)W\frac{1}{h}}{1+\frac{M_A}{M_B}}\left(\frac{M_Ah^2}{I}\right), \tag{30}$$

式中 $$I=I_A+I_B+M_Ax_A^2+M_Bx_B^2+\frac{M_AM_B}{M_A+M_B}h^2。$$

前已确定

$$M_A(V'_{Ax}-V_{Ax})=-M_B(V'_{Bx}-V_{Bx});$$

$$-(V'_{Ax}-V_{Ax})+(V'_{Bx}-V_{Bx})+(\omega'-\omega)h=(1+b)W;$$

$$V'_{Ay}-V_{Ay}=(\omega'-\omega)x_A;$$

$$V'_{By}-V_{By}=(\omega'-\omega)x_B。$$

利用这些等式可得:

$$V'_{Ax}=V_{Ax}-\frac{(1+b)W}{1+\frac{M_A}{M_B}}\left(1-\frac{M_A h^2}{I}\right); \tag{31}$$

$$V'_{Bx}=V_{Bx}+\frac{(1+b)W}{1+\frac{M_B}{M_A}}\left(1-\frac{M_A h^2}{I}\right); \tag{32}$$

$$V'_{Ay}=V_{Ay}+\frac{(1+b)W\frac{x_A}{h}}{1+\frac{M_A}{M_B}}\left(\frac{M_A h^2}{I}\right); \tag{33}$$

$$V'_{By}=V_{By}+\frac{(1+b)W\frac{x_B}{h}}{1+\frac{M_A}{M_B}}\left(\frac{M_A h^2}{I}\right)。 \tag{34}$$

所求得的方程式能够确定撞击后所有未知速度。

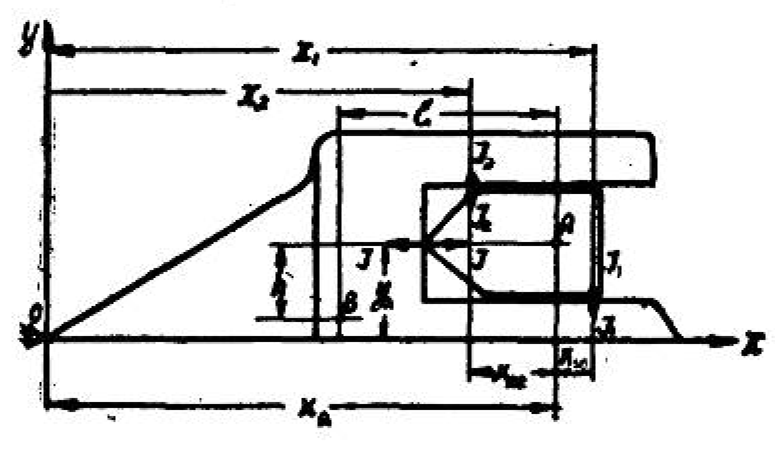


圖55 撞击圖。

如果当活动部分在后方位置發生撞击时武器可以在平面上繞固定軸O轉动(圖55),那么,求运动的动量方程式的形式如下:

$$I_{BO}(\omega'-\omega)=Iy_A-I_1x_1+I_2x_2;$$

$$I_A(\omega'-\omega)=I_1x_{A1}+I_2x_{A2};$$

$$M_A(V'_{Ay}-V_{Ay})=I_1-I_2;$$

$$M'_A(V'_{Ax}-V_{Ax})=-I,$$

式中 I_{BO}——物体 B 对轉动軸（O 点）的轉动慣量；

I_A——物体 A 对其質心的轉动慣量；

M_A；M_B——物体 A 和 B 的質量；

V_{Ax}；V'_{Ax}；V_{Ay}；V'_{Ay}——物体 A 的質心速度在座标軸上的投影；

y_A；x_1；x_2；x_{A1}；x_{A2}——圖55所示的座标；

I；I_1；I_2——圖 55 所示的冲量。

利用上述方程式，可得

$$(I_{BO}+I_A)(\omega'-\omega)=-M_Ay_A(V'_{Ax}-V_{Ax})-$$
$$-M_Ax_A(V'_{Ay}-V_{Ay})。$$

对于所研究的原理圖来講

$$V'_{Ay}=\omega'x_A,\quad V_{Ay}=\omega x_A,$$

由此

$$V'_{Ay}-V_{Ay}=(\omega'-\omega)x_A。$$

因而，

$$(I_{BO}+I_A)(\omega'-\omega)=-M_Ay_A(V'_{Ax}-V_{Ax})-$$
$$-M_Ax_A^2(\omega'-\omega)$$

或

$$(I_{BO}+I_A+M_Ax_A^2)(\omega'-\omega)=-M_Ay_A(V'_{Ax}-V_{Ax})。$$

引用符号

$$I_{BO}+I_A+M_Ax_A^2=I_0,$$

得

$$I_0(\omega'-\omega)=-M_Ay_A(V'_{Ax}-V_{Ax})。$$

求撞击时速度恢复系数的公式可写成如下的形式

$$\frac{V'_{Ax}-\omega'y_A}{V_{Ax}-\omega y_A}=-b,$$

由此

$$-(V'_{Ax}-V_{Ax})+(\omega'-\omega)y_A=(1+b)W,$$

式中 $$W=V_{Ax}-\omega y_A。$$

利用后两个方程式可得

$$\omega' - \omega = \frac{(1+b)W\frac{1}{y_A}}{1+\frac{I_0}{M_A y_A^2}},$$

$$V'_{Ax} - V_{Ax} = \frac{(1+b)W}{1+\frac{M_A y_A^2}{I_0}},$$

式中　I_0——整个武器对轉动軸的轉动惯量。

推导上述的公式时曾假設，撞击体的質心和撞击点同在一个垂直面上而物体 A 对物体 B 的运动只在水平方向上进行。

这样假設只是为了書写符号的方便。所有上面所求得的公式在撞击体質心和其撞击点在任何平面上时，也可以应用。物体 A 和 B 在此平面上的相对运动方向也可以是任意的。

圖 56 上所示的是比較复杂的原理圖。在此圖中两个撞击体的質心与撞击点（点 a 或点 B）不是在同一平面上。

利用圖中所示的符号并假設撞击物体系在空間是自由的，而物体 A 和 B 只可以在水平面上做相对位移，则可用下列方程式説明撞击时撞击体質心速度的变化：

$$I_{Az}(\omega' - \omega) = I_2 y_{A2} - I_1 x_{A1} - I_3 x_{A3}; \tag{35}$$

$$I_{Bz}(\omega' - \omega) = I_1 x_{B1} + I_2 y_{B2} - I_3 x_{B3}; \tag{36}$$

$$I_{Ay}(\Omega' - \Omega) = I_2 z_{A2} - I_4 x_{A4} - I_5 x_{A5}; \tag{37}$$

$$I_{By}(\Omega' - \Omega) = I_4 x_{B4} - I_5 x_{B5} + I_2 z_{B2}; \tag{38}$$

$$I_{Ax}(\psi' - \psi) = -I_3 z_{A3} + I_1 z_{A1} - I_4 y_{A4} + I_5 y_{A5}; \tag{39}$$

$$I_{Bx}(\psi' - \psi) = -I_3 z_{B3} + I_1 z_{B1} - I_4 y_{B4} + I_5 y_{B5}; \tag{40}$$

$$I_2 = M_A(V_{Ax} - V'_{Ax}) = -M_B(V_{Bx} - V'_{Bx}); \tag{41}$$

$$I_3 - I_1 = -M_A(V_{Ay} - V'_{Ay}) = M_B(V_{By} - V'_{By}); \tag{42}$$

$$I_5 - I_4 = -M_A(V_{Az} - V'_{Az}) = M_B(V_{Bz} - V'_{Bz}), \tag{43}$$

式中

I_{Az}；I_{Bz}；I_{Ay}；I_{By}；I_{Ax}；I_{Bx}——物体 A 和 B 对于作为惯性主軸的 x，y，z 軸的主要轉动慣量；

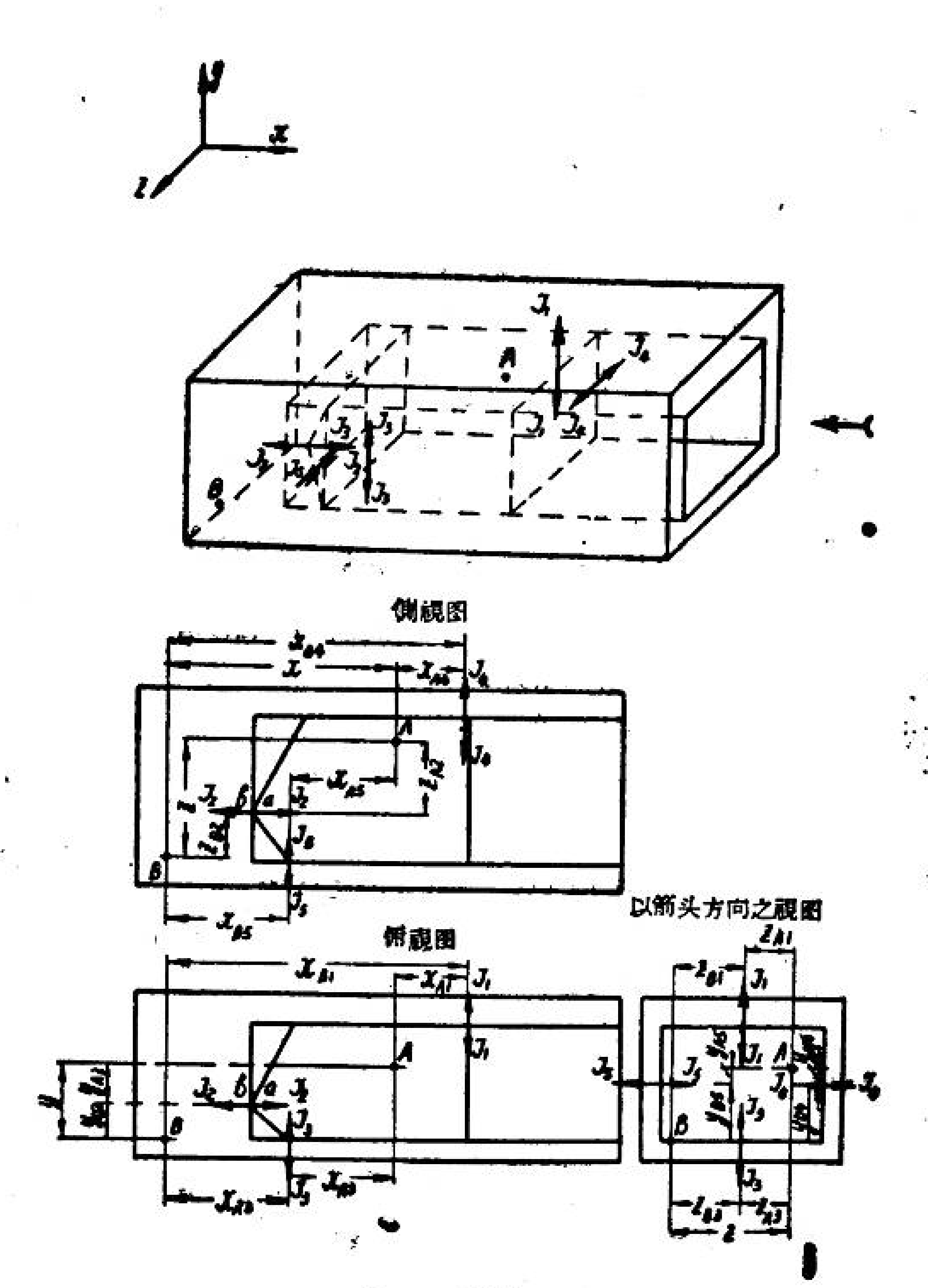


圖56 空間撞击圖。

I_1; I_2; I_3; I_4; I_5——撞击时所产生的冲量；

x_{A1}; x_{A3}; x_{A4}; x_{A5}
x_{B1}; x_{B3}; x_{B4}; x_{B5}
y_{A4}; y_{B4}; y_{A5}; y_{B5} ——撞击时产生的冲量的作用点座标；
y_{A2}; y_{B2}; z_{A2}; z_{B2}
z_{A1}; z_{B1}; z_{A3}; z_{B3}

ω; ω'; Ω; Ω'; ψ; ψ'——撞击前和撞击后物体 A 和 B 对 x，y，z 軸的角速度；

V_{Ax}; V'_{Ax}; V_{Bx}; V'_{Bx}
V_{Ay}; V'_{Ay}; V_{By}; V'_{By} ——撞击前和撞击后物体 A 和 B 質心速度在 x，y，z 座标軸上的投影。
V_{Az}; V'_{Az}; V_{Bz}; V'_{Bz}

利用方程式（35～40），可得

$$I_z(\omega'-\omega)=I_2(y_{A2}+y_{B2})+I_1(x_{B1}-x_{A1})-I_3(x_{A3}+x_{B3});$$

$$I_y(\Omega'-\Omega)=I_2(z_{A2}+z_{B2})+I_4(x_{B4}-x_{A4})-I_5(x_{A5}+x_{B5});$$

$$I_x(\psi'-\psi)=-I_3(z_{A3}+z_{B3})+I_1(z_{A1}+z_{B1})-I_4(y_{B4}+y_{A4})+I_5(y_{B5}+y_{A5})$$

或

$$I_z(\omega'-\omega)=I_2y+(I_1-I_3)x; \tag{44}$$

$$I_y(\Omega'-\Omega)=I_2z+(I_4-I_5)x; \tag{45}$$

$$I_x(\psi'-\psi)=(I_1-I_3)z-(I_4-I_5)y, \tag{46}$$

式中　x；y；z——物体 A 質心（点 A）相对于物体 B 質心（点 B）的座标。

$$I_z=I_{Az}+I_{Bz};\quad I_y=I_{Ay}+I_{By};\quad I_x=I_{Ax}+I_{Bx}。$$

将方程式（41），（42），（43）中的冲量值代入后一方程式，則得

$$I_z(\omega'-\omega)=M_A[(V_{Ax}-V'_{Ax})y+(V_{Ay}-V'_{Ay})x]; \tag{47}$$

$$I_y(\Omega'-\Omega)=M_A[(V_{Ax}-V'_{Ax})z+(V_{Az}-V'_{Az})x]; \tag{48}$$

$$I_x(\psi'-\psi)=M_A[-(V_{Az}-V'_{Az})y+(V_{Ay}-V'_{Ay})z]。 \tag{49}$$

現在得出了六个方程式（41），（42），（43），（44），（45），

(46)。在这些方程式中含有 9 个未知速度:

$$V'_{Ax};\ V'_{Ay};\ V'_{Az};\ V'_{Bx};\ V'_{By};\ V'_{Bz};\ \omega';\ \Omega';\ \psi'。$$

为了求出这些速度还需要有三个方程式。

求恢复系数的方程式可以写成如下的形式:

$$\frac{V'_{ax}-V'_{bx}}{V_{ax}-V_{bx}}=-b,$$

式中 $V_{ax};V_{bx};V'_{ax};V'_{bx}$——两个物体碰撞点的速度在 x 轴上的投影。

为了用撞击体質心速度投影来表示恢复系数，可利用下列等式:

$$V_{Ax}-V_{Bx}-(V_{ax}-V_{bx})=\omega y+\Omega z,$$

$$V'_{Ax}-V'_{Bx}-(V'_{ax}-V'_{bx})=\omega' y+\Omega' z。$$

利用这些等式可得

$$\frac{V'_{Ax}-V'_{Bx}-\omega' y-\Omega' z}{V_{Ax}-V_{Bx}-\omega y-\Omega z}=-b,$$

或

$$\frac{V_{Ax}-V'_{Ax}-(V_{Bx}-V'_{Bx})-(\omega-\omega')y-(\Omega-\Omega')z}{V_{Ax}-V_{Bx}-\omega y-\Omega z}=1+b。$$

但

$$-(V_{Bx}-V'_{Bx})=(V_{Ax}-V'_{Ax})\frac{M_A}{M_B},$$

由此

$$\frac{(V_{Ax}-V'_{Ax})\left(1+\frac{M_A}{M_B}\right)-(\omega-\omega')y-(\Omega-\Omega')z}{V_{Ax}-V_{Bx}-\omega y-\Omega z}=1+b。\quad(50)$$

为了求撞击体質心速度在 y 和 z 轴上的投影，可以写出下列方程式:

$$V_{Ay}-V_{By}=\omega x+\psi z;\quad V_{Az}-V_{Bz}=\Omega x+\psi y;$$

$$V'_{Ay}-V'_{By}=\omega' x+\psi' z;\quad V'_{Az}-V'_{Bz}=\Omega' x+\psi' y,$$

由此

$$(V_{Ay}-V'_{Ay})-(V_{By}-V'_{By})=(\omega-\omega')x+(\psi-\psi')z;$$

$$(V_{Az}-V'_{Az})-(V_{Bz}-V'_{Bz})=(\Omega-\Omega')x+(\psi-\psi')y。$$

利用等式（42）和（43）可得

$$(V_{Ay}-V'_{Ay})\left(1+\frac{M_A}{M_B}\right)=(\omega-\omega')x+(\psi-\psi')z, \qquad (51)$$

$$(V_{Az}-V'_{Az})\left(1+\frac{M_A}{M_B}\right)=(\Omega-\Omega')x+(\psi-\psi')y。 \qquad (52)$$

現在已有确定撞击后撞击体速度所必需的9个方程式（41），（42），（43），（47），（48），（49），（50），（51），（52）。

利用方程式（47），（48），（49），（51），（52），可得：

$$k_z(\omega'-\omega)=M_A(V_{Ax}-V'_{Ax})y-\frac{M_AM_B}{M_A+M_B}xz(\psi'-\psi);$$

$$k_y(\Omega'-\Omega)=M_A(V_{Ax}-V'_{Ax})z-\frac{M_AM_B}{M_A+M_B}xy(\psi'-\psi);$$

$$k_x(\psi'-\psi)=\frac{M_AM_B}{M_A+M_B}xyzM_A(V_{Ax}-V'_{Ax})\left(\frac{1}{k_y}-\frac{1}{k_z}\right),$$

式中

$$k_z=I_z+\frac{M_AM_B}{M_A+M_B}x^2;$$

$$k_y=I_y+\frac{M_AM_B}{M_A+M_B}x^2;$$

$$k_x=I_x-(y^2-z^2)\frac{M_AM_B}{M_A+M_B}+\left(\frac{M_AM_B}{M_A+M_B}\right)^2x^2\left(\frac{z^2}{k_z}-\frac{y^2}{k_y}\right)。$$

上面所求得的方程式能够确定撞击后的所有未知速度，而不再需要补充的假設。但是，这些方程式的分析表明，研究自动武器时，如果采用某些假設就可以大大地簡化这些方程式。

由后一方程式得出結論，当 $I_z=I_y$ 时，如果 x，y，z 座标中有一个等于零或 $k_y=k_z$ 的話，则 $\psi'-\psi=0$。在自动武器中几乎經常可以取 $I_z=I_y$，幷不会出現很大誤差，因而，$\psi'-\psi=0$。

同时上述方程式的解簡化了，因为它們可以化成下列形式

$$k_z(\omega'-\omega)=M_A(V_{Ax}-V'_{Ax})y,$$

$$k_y(\Omega'-\Omega)=M_A(V_{Ax}-V'_{Ax})z。$$

利用这些方程式同时利用方程式（50），便能够解出下列未知速度：

$$\omega'=\omega+W_0(1+b)\frac{\alpha_y}{1+\alpha_y+\alpha_z}\cdot\frac{1}{y};\tag{53}$$

$$\Omega'=\Omega+W_0(1+b)\frac{\alpha_z}{1+\alpha_y+\alpha_z}\cdot\frac{1}{z};\tag{54}$$

$$V'_{Ax}=V_{Ax}-\frac{W_0(1+b)}{1+\frac{M_A}{M_B}}\cdot\frac{1}{1+\alpha_y+\alpha_z},\tag{55}$$

式中

$$W_0=V_{Ax}-V_{Bx}-\omega y-\Omega z;\tag{56}$$

$$\alpha_y=\frac{y^2}{I_z\left(\frac{1}{M_A}+\frac{1}{M_B}\right)+x^2};\tag{57}$$

$$\alpha_z=\frac{z^2}{I_y\left(\frac{1}{M_A}+\frac{1}{M_B}\right)+x^2}。\tag{58}$$

为了求出其余五个未知的撞击后撞击体質心速度的投影，需要利用方程式（41），（42），（43），（47），（48），（49）（当$\psi'-\psi=0$时）。

利用这些方程式，可得：

$$V'_{Bx}=V_{Bx}+\frac{W_0(1+b)}{1+\frac{M_B}{M_A}}\cdot\frac{1}{1+\alpha_y+\alpha_z};\tag{59}$$

$$V'_{Ay}=V_{Ay}+\frac{W_0(1+b)}{1+\frac{M_A}{M_B}}\cdot\frac{\alpha_y}{1+\alpha_y+\alpha_z}\cdot\frac{x}{y};\tag{60}$$

$$V'_{By}=V_{By}-\frac{W_0(1+b)}{1+\frac{M_B}{M_A}}\cdot\frac{\alpha_y}{1+\alpha_y+\alpha_z}\cdot\frac{x}{y};\tag{61}$$

$$V'_{Az}=V_{Az}+\frac{W_0(1+b)}{1+\frac{M_A}{M_B}}\cdot\frac{\alpha_z}{1+\alpha_y+\alpha_z}\cdot\frac{x}{z};\tag{62}$$

$$V'_{Bz}=V_{Bz}-\frac{W_0(1+b)}{1+\frac{M_B}{M_A}}\cdot\frac{\alpha_z}{1+\alpha_y+\alpha_z}\cdot\frac{x}{z}。\tag{63}$$

当$z=0$时，$\alpha_z=0$并且这些方程式可以化成討論第一个原理圖时所得的形式。

上面所获得的方程式表明，为了保証在射击过程中自动机工作时手提式自动武器具有良好的稳定性，必須使自动机活动部分

撞击时其質心和武器所有其余各部分的質心位于同一水平綫上（槍膛軸綫延長綫）。自动机各部分的撞击点的位置可以是任意的。

有鑒于此，譬如，使导气箍接近于槍膛軸綫，可以肯定这对于射击时自动武器稳定性不可能有好的影响。同时使自动机活动部分的重心接近槍膛軸綫具有决定性的意义，并应該对稳定性有很好的影响。

§3 自动机各部分的平稳运动对射击时自动武器的稳定性的影响

为了解决在研究射击时手提式自动武器的稳定性时所遇到的問題，只研究一下平面运动的情况就可以了。圖 57 所示的是自动机填实工作圖，而圖 58 是計算圖。

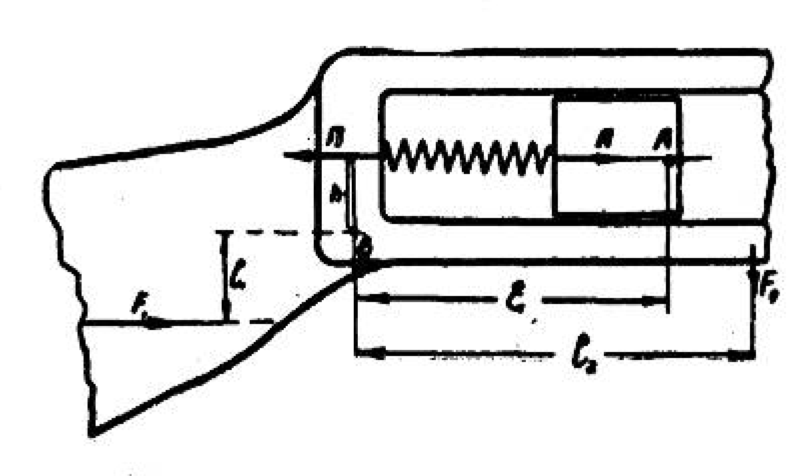


圖57　整个武器及自动机各部分平稳运动圖。

圖 57 和 58 中列出下述各值：

h，ξ——物体 A 質心（点 A）对物体 B 質心（点 B）的座标；

F_1，F_2——作用于武器（物体 B）上的外力；

l_1，l_2——外力作用点的座标；

J——由自动机工作所引起的內力；

φ——武器的射角；

r——点 A 与点 B 的距离；

V_{Ax}；V_{Ay}——物体 A 的質心速度在两座标軸上的投影；

V_{Bx}；V_{By}——物体 B 的質心速度在两座标軸上的投影。

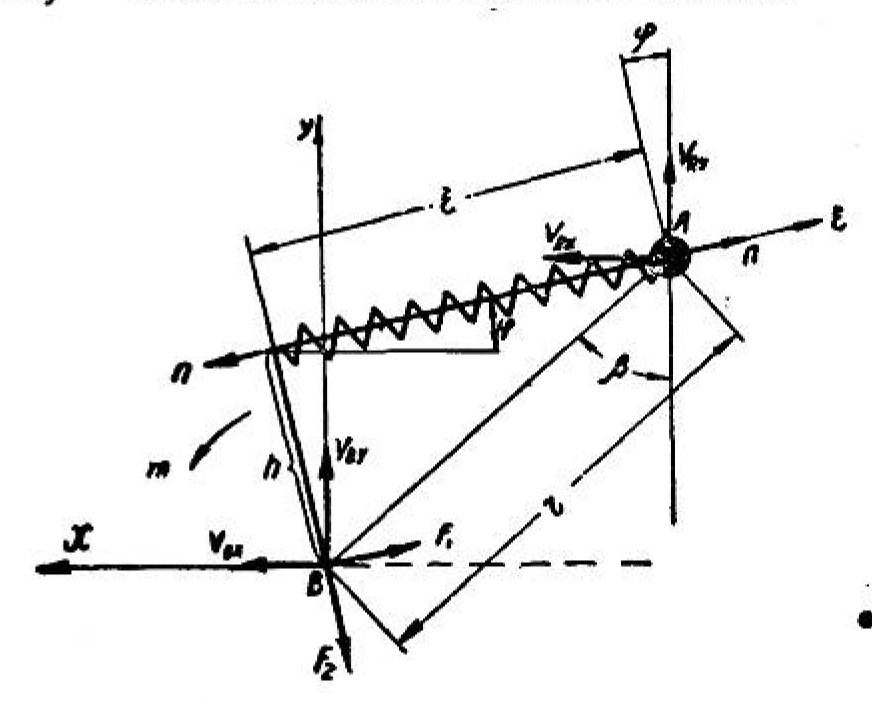


圖58 整个武器和自动机各部分平稳运动的計算圖。

对于所研究的圖来講，可以确定下列运动关系式:

$$V_{Ax}=V_{Bx}+r\omega\cos\beta-\dot{\xi}\cos\varphi, \tag{64}$$

$$V_{Ay}=V_{By}+r\omega\sin\beta+\dot{\xi}\sin\varphi, \tag{65}$$

但,

$$r\sin\beta=\xi\cos\varphi-h\sin\varphi, \tag{66}$$

$$r\cos\beta=\xi\sin\varphi+h\cos\varphi。 \tag{67}$$

因而,

$$V_{Ax}=V_{Bx}+\omega(\xi\sin\varphi+h\cos\varphi)-\dot{\xi}\cos\varphi, \tag{68}$$

$$V_{Ay}=V_{By}+\omega(\xi\cos\varphi-h\sin\varphi)+\dot{\xi}\sin\varphi。 \tag{69}$$

由此，可得

$$\dot{V}_{Ax}=\dot{V}_{Bx}+\omega(\dot{\xi}\sin\varphi+\xi\omega\cos\varphi-h\omega\sin\varphi)-$$
$$-\ddot{\xi}\cos\varphi+\omega\dot{\xi}\sin\varphi+(\xi\sin\varphi+h\cos\varphi)\dot{\omega}, \tag{70}$$

$$\dot{V}_{Ay}=\dot{V}_{By}+\omega(\dot{\xi}\cos\varphi-\xi\omega\sin\varphi-h\omega\cos\varphi)+$$
$$+\ddot{\xi}\sin\varphi+\omega\dot{\xi}\cos\varphi+(\xi\cos\varphi-h\sin\varphi)\dot{\omega}。 \tag{71}$$

为了求出所研究武器的运动方程式，我們利用拉格兰日二次方程：

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}}\right)-\frac{\partial T}{\partial q}=Q,$$

式中

T——武器的动能；

q——广义座标；

Q——广义力；

t——时間。

所研究的武器的动能

$$T=\frac{1}{2}\left[(I_A+I_B)\omega^2+M_A(V_{Ax}^2+V_{Ay}^2)+M_B(V_{Bx}^2+V_{By}^2)\right], \quad (72)$$

式中

M_A、M_B——物体 A 和物体 B 的質量；

I_A、I_B——物体 A 和 B 对其質心的轉动慣量。

利用运动关系式（68），（69）可求出

$$V_{Ax}^2+V_{Ay}^2=V_{Bx}^2+V_{By}^2+2V_{Bx}\cos\varphi\,(h\omega-\dot{\xi})-$$
$$-2V_{By}(h\omega-\dot{\xi})\sin\varphi+\dot{\xi}^2+2V_{Bx}\omega\xi\sin\varphi+$$
$$+2V_{By}\omega\xi\cos\varphi-2\dot{\xi}\omega h+\omega^2(\xi^2+h^2)。$$

将 $V_{Ax}^2+V_{Ay}^2$ 值代入公式（72）之后，則得

$$T=\frac{1}{2}\{I\omega^2+(V_{Bx}^2+V_{By}^2)(M_A+M_B)-2M_A\dot{\xi}\omega h+$$
$$+2M_AV_{Bx}[(h\omega-\dot{\xi})\cos\varphi+\omega\xi\sin\varphi]+M_A\dot{\xi}^2-$$
$$-2M_AV_{By}[(h\omega-\dot{\xi})\sin\varphi-\omega\xi\cos\varphi]\}, \quad (73)$$

式中

ω——物体 B 轉动的角速度；

I——物体 A 和 B 对物体 B 質心的轉动慣量，

$$I=I_A+I_B+M_A(h^2+\xi^2)。$$

用于所研究的武器时，拉格兰日方程式具有下列形式：

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial V_{Bx}}\right)-\frac{\partial T}{\partial x_B}=Q_{xB};$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial V_{By}}\right)-\frac{\partial T}{\partial y_B}=Q_{yB};$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \omega}\right)-\frac{\partial T}{\partial \varphi}=m_B;$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\xi}}\right)-\frac{\partial T}{\partial \xi}=Q\xi,$$

式中

$x_B; y_B$——物体 B 質心的座标；

$Q_{xB}; Q_{yB}; Q_\xi$——广义力；

m_B——对于物体 B 質心的广义力矩。

現在确定拉格兰日方程式中所含的表达式

$$\frac{\partial T}{\partial V_{Bx}}=V_{Bx}(M_A+M_B)+M_A[(h\omega-\dot{\xi})\cos\varphi+\omega\xi\sin\varphi]; \quad (74)$$

$$\frac{\partial T}{\partial V_{By}}=V_{By}(M_A+M_B)-M_A[(h\omega-\dot{\xi})\sin\varphi-\omega\xi\cos\varphi]; \quad (75)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \omega}=I_\omega-M_A\dot{\xi}h+M_AV_{Bx}(h\cos\varphi+\xi\sin\varphi)$$
$$-M_BV_{By}(h\sin\varphi-\xi\cos\varphi); \quad (76)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\xi}}=-M_A\omega h-M_AV_{Bx}\cos\varphi$$
$$+M_AV_{By}\sin\varphi+M_A\dot{\xi}; \quad (77)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \xi}=M_A\omega^2\ \xi+M_AV_{Bx}\omega\sin\varphi+M_AV_{By}\omega\cos\varphi; \quad (78)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi}=M_AV_{Bx}[(\dot{\xi}-h\omega)\sin\varphi+\omega\xi\cos\varphi]$$
$$+M_AV_{By}[(\dot{\xi}-h\omega)\cos\varphi-\omega\xi\sin\varphi]。 \quad (79)$$

为了求出广义力 O_{xB}；Q_{yB}；Q_ξ 和广义力矩 m_B，我們利用可能位移原理。

从理論力学中知道，广义力可以作为广义位移的系數用任意可能位移（$\delta x_B, \delta y_B, \delta\xi, \varphi$）上的作用力之單元功 δW 来表示。

在所研究的情况中

$$\delta W=(-F_1\sin\varphi-F_2\cos\varphi)\delta x_B+(F_1\sin\varphi-F_2\cos\varphi)\delta y_B-$$
$$-\Pi\delta\xi+(F_1l_1-F_2l_2)\varphi。$$

因而，

$$Q_x = -F_1\cos\varphi - F_2\sin\varphi; \tag{80}$$

$$Q_y = F_1\sin\varphi - F_2\cos\varphi; \tag{81}$$

$$Q_\xi = -\Pi; \tag{82}$$

$$m_B = F_1 l_1 - F_2 l_2。 \tag{83}$$

将所有这些表达式代入拉格兰日方程式中，則得下列方程組：

$$\dot{V}_{Bx}(M_A+M_B)+M_A\Big[(h\dot{\omega}-\ddot{\xi})\cos\varphi-\omega(h\omega-\dot{\xi})\sin\varphi$$

$$+\frac{d(\omega\xi)}{dt}\sin\varphi+\omega^2\xi\cos\varphi\Big]=-F_1\cos\varphi-F_2\sin\varphi; \tag{84}$$

$$\dot{V}_{By}(M_A+M_B)+M_A\Big[(\ddot{\xi}-h\dot{\omega})\sin\varphi-\omega(h\omega-\dot{\xi})\cos\varphi$$

$$+\frac{d(\omega\xi)}{dt}\cos\varphi-\omega^2\xi\sin\varphi\Big]=-F_2\cos\varphi+F_1\sin\varphi; \tag{85}$$

$$\dot{\omega}hM_A+\dot{V}_{Bx}M_A\cos\varphi-\dot{V}_{By}M_A\sin\varphi+M_A\omega^2\xi$$

$$-M_A\ddot{\xi}=-\Pi; \tag{86}$$

$$\frac{d}{dt}(I\omega)-M_Ah\ddot{\xi}+M_A\Big[\dot{V}_{Bx}(h\cos\varphi-\xi\sin\varphi)$$

$$-\dot{V}_{By}(h\sin\varphi-\xi\cos\varphi)\Big]=m_B。 \tag{87}$$

研究自动武器穩定性时，通常討論其水平位置。此时，因射击时武器轉动而产生的角度很小，故可以忽略不計，而認为 $\varphi=0$。

此时，方程式（84），（85），（86），（87）的形式如下：

$$\dot{V}_{Bx}(M_A+M_B)+(h\dot{\omega}-\ddot{\xi}+\xi\omega^2)M_A=-F_1; \tag{88}$$

$$\dot{V}_{By}(M_A+M_B)+(\dot{\omega}\xi-h\omega^2+2\dot{\xi}\omega)M_A=-F_2; \tag{89}$$

$$(\dot{\omega}h+\dot{V}_{Bx}+\omega^2\xi-\ddot{\xi})M_A=-\Pi; \tag{90}$$

$$\frac{d}{dt}(I\omega)+(\dot{V}_{Bx}h+\dot{V}_{By}\xi-\ddot{\xi}h)M_A=m_B。 \tag{91}$$

将由公式（88）和（89）所求得的 $\dot{V}_{Bx}$ 和 $\dot{V}_{By}$ 值代入后一公式（90）中，則得

$$\frac{d}{dt}(I_0\omega)=\pi h+m_0, \tag{91'}$$

式中

$I_0=I_A+I_B+\frac{M_AM_B}{M_A+M_B}(\xi^2+h^2)$——两个物体 A 和 B 对其公共質心的轉动慣量；

$\pi = \frac{M_A M_B}{M_A + M_B}\ddot{\xi}$——由于自动机工作而引起的內力；

$m_0 = F_2\left(\xi\frac{M_A}{M_A+M_B} - l_2\right) + F_1\left(h\frac{M_A}{M_A+M_B} + l_1\right)$——作用于物体 B 上的諸外力力矩。

研究手提式自动武器的稳定性时，ξ 是自动机活动部分相对武器机匣的位移。随时間而变化的 ξ、$\dot{\xi}$ 和 $\ddot{\xi}$ 值可以用实驗或計算的方法确定。因而，为了解方程式（91′）可以先确定下述关系式

$$I_0 = \varphi(t);\quad \pi = F(t) 和 m_0 = \Phi(t)。$$

方程式（91′）表明，武器轉动的角速度 ω 不仅与取决于因自动机工作而引起的內力力矩，而且还与外力力矩有关。

在某些情况下，把以上所得出的方程式加以变换并化成更便于适用的形式是大有稗益的。

将方程式(90)的 $(\dot{\omega}h + \dot{V}_{Bx} + \omega^2\xi - \ddot{\xi})M_A = -\Pi$ 值代入之后，可以将此諸方程式中的第一个加以变换。此时得出下列的方程組：

$$\dot{V}_{Bx}M_B = \Pi - F_1; \tag{92}$$

$$\dot{V}_{By}(M_A + M_B) + (\dot{\omega}\xi - h\omega^2 + 2\dot{\xi}\omega)M_A = -F_2; \tag{93}$$

$$M_A(\dot{\omega}h + \dot{V}_{Bx} + \omega^2\xi - \ddot{\xi}) = -\Pi; \tag{94}$$

$$\frac{d}{dt}(I_0\omega) = \pi h + m_0。 \tag{95}$$

研究自动武器稳定性时，对于方程式中的各值采用某些假設，即可将这些方程式加以簡化。

例如，$\dot{\omega}\xi - h\omega^2$ 之差与 $2\dot{\xi}\omega$ 相比較时常常可以忽略不計。同样 $\dot{\omega}h + \omega^2\xi$ 之和与 $\dot{V}_{Bx} - \ddot{\xi}$ 比較时亦可加以忽略。

采用这些假設时，方程式（92），（93），（94），（95)可以写成如下形式：

$$\dot{V}_{Bx}M_B = \Pi - F_1; \tag{96}$$

$$\dot{V}_{By}(M_A + M_B) + 2\dot{\xi}\omega M_A = -F_2; \tag{97}$$

$$(\dot{V}_{Bx} - \ddot{\xi})M_A = -\Pi; \tag{98}$$

$$\frac{d}{dt}(I_0\omega)=\pi h+m_0。\tag{99}$$

仅用方程式（96）和（98）便可以确定 $\dot{V}_{Bx}$ 和 $\ddot{\xi}$，而只应用方程式（97）和（99）便可以求出 ω 和 $\dot{V}_{By}$。

当力 Π 給定时（这种情况在計算重新設計的武器时可能遇到）应用上述的方程式形式是方便的。

如果必須从理論上来研究現有武器的稳定性，那么最方便的是根据專門的試驗先求出 $\ddot{\xi}$ 值。此时，将方程式（96）化成下一形式較方便：

$$\dot{V}_{Bx}(M_A+M_B)-\ddot{\xi}M_A=-F_1 \tag{100}$$

所作的研究能够使我們得出如下的結論：射击时手提式自动武器的稳定性不好主要是由于自动机工作时活动部分發生撞击而引起的。

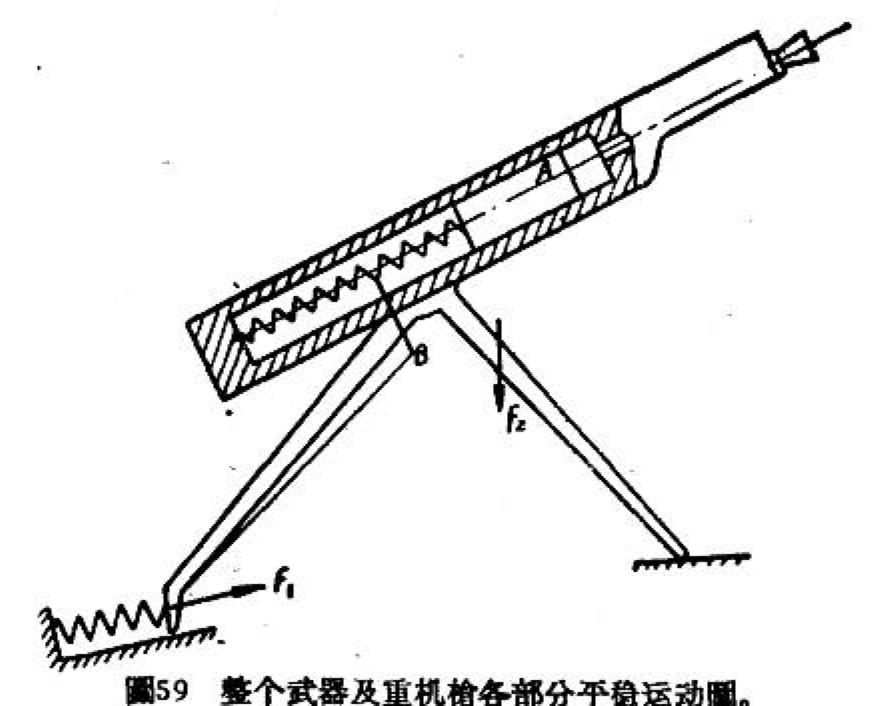


圖59 整个武器及重机槍各部分平稳运动圖。

提高武器的稳定性，从而也就是改善其射击精度可以通过合理配置活动部分質心和外力作用力矩的位置的方法来实現。

方程式（88），（89），（90），（91）不但可以用来研究手提武器的射击稳定性，也可以用来研究重机槍的射击稳定性。

但是，在研究重机槍稳定性和自动炮稳定性的某些情况下，可以应用更簡單的原理圖（圖60）。

此圖与上面所討論的圖的区别在于：支撑点O是活动鉸，而C点可以在x軸的方向上相对O点移动。

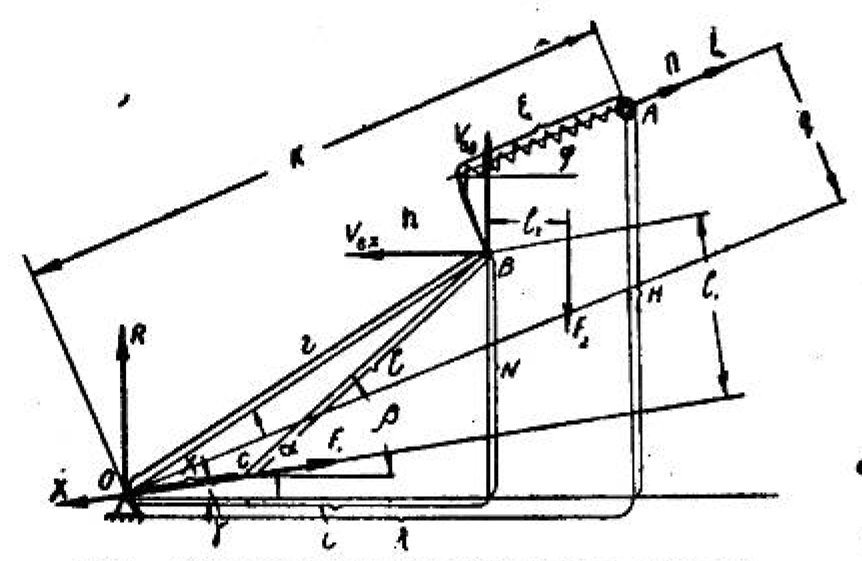


圖60 整个武器及重机槍各部分平稳运动原理圖。

为了便于进一步研究这种情况起見，我們引用圖60所示的符号l、L、N、H、λ、x、r、γ、β。

利用圖60可以建立下列几何关系式：

$$\lambda = x\cos\gamma + l\cos\beta - h\sin\varphi + \xi\cos\varphi;$$

$$L = x\cos\gamma + l\cos\beta;$$

$$N = x\sin\gamma + l\sin\beta;$$

$$H = x\sin\gamma + l\sin\beta + h\cos\varphi + \xi\sin\varphi。$$

根据圖60所示的原理圖还可以建立下列运动关系式：

$$V_{Bx} = \dot{x}\cos\gamma + r\omega\sin\alpha,\quad V_{By} = \dot{x}\sin\gamma + r\omega\cos\alpha,$$

但

$$r\sin\alpha = l\sin\beta + x\sin\gamma,\quad r\cos\alpha = l\cos\beta + x\cos\gamma。$$

因而，

$$V_{Bx} = \dot{x}\cos\gamma + \omega l\sin\beta + \omega x\sin\gamma, \tag{101}$$

$$V_{By} = \dot{x}\sin\gamma + \omega l\cos\beta + \omega x\cos\gamma。 \tag{102}$$

取对时間的导数之后，則得

$$\dot{V}_{Bx}=\ddot{x}\cos\gamma+\omega^2 l\cos\beta+\dot{\omega}l\sin\beta+\dot{\omega}x\sin\gamma+\omega^2 x\cos\gamma,\qquad(103)$$

$$\dot{V}_{By}=\ddot{x}\sin\gamma+2\dot{x}\omega\cos\gamma-\omega^2 l\sin\beta+\dot{\omega}l\cos\beta+\dot{\omega}x\cos\gamma-\omega^2 x\sin\gamma,\qquad(104)$$

因为 $\gamma=\beta=\varphi=\omega$。

以后为了减化公式起見，在最后的公式中設 $\gamma=0$，这对于在实际当中所遇到的許多情况都是允許的。

利用所述的几何关系式和运动关系式（当 $\gamma=0$ 时），則得:

$$\dot{V}_{Bx}=\ddot{x}+\omega^2 L+\omega N,\quad \dot{V}_{By}=2\dot{x}\omega-\omega^2 N+\dot{\omega}L。$$

适用于所討論的圖，方程式（74～77）将有如下的形式:

$$\dot{V}_{Bx}M+[(h\dot{\omega}-\ddot{\xi})\cos\varphi-\omega(h\omega-\dot{\xi})\sin\varphi+(\dot{\omega}\xi+\omega\dot{\xi})\sin\varphi+\omega^2\xi\cos\varphi]M_A=-F_1;$$

$$\dot{V}_{By}M+[(\ddot{\xi}-h\dot{\omega})\sin\varphi+\omega(\dot{\xi}-h\omega)\cos\varphi+(\dot{\omega}\xi+\omega\dot{\xi})\cos\varphi-\omega^2\xi\cos\varphi]M_A=-F_2+R;$$

$$\frac{d}{dt}(I\omega)=\ddot{\xi}hM_A+[\dot{V}_{Bx}(h\cos\varphi+\xi\sin\varphi)-\dot{V}_{By}(h\sin\varphi-\xi\cos\varphi)]M_A=F_1l_1-F_2l_2-RL;$$

$$M_A(\dot{\omega}h-\ddot{\xi}+\omega^2\xi+\dot{V}_{Bx}\cos\varphi-\dot{V}_{By}\sin\varphi)=-\Pi,$$

式中

$M=M_A+M_B$——所討論的两个物体的質量;

$F_1; F_2; \Pi; R$——給定的力和約束反作用力。

利用上面所建立的几何关系式和运动关系式，上述方程式可以化成如下的形式:

$$(\ddot{x}+\dot{\omega}^2 L+\dot{\omega}N)M+[\dot{\omega}(H-N)-\ddot{\xi}\cos\varphi+\omega^2(\lambda-L)+2\dot{\xi}\omega\sin\varphi]M_A=-F_1;\qquad(105)$$

$$(2\dot{x}\omega-\omega^2 N+\dot{\omega}L)M+[\dot{\omega}(\lambda-L)+\ddot{\xi}\sin\varphi+\omega^2(N-H)+2\dot{\xi}\omega\cos\varphi]M_A=R-F_2;\qquad(106)$$

$$[\omega^2(L\cos\varphi+N\sin\varphi+\xi)+\dot{\omega}(N\cos\varphi+h-L\sin\varphi)$$
$$+\ddot{x}\cos\varphi-2\dot{x}\omega\sin\varphi-\ddot{\xi}]M_A=-\Pi; \qquad (107)$$

$$\frac{d}{dt}(I\omega)+[(H-N)(\ddot{x}+\omega^2L+\dot{\omega}N)$$
$$+(\lambda-L)(2\dot{x}\omega-\omega^2N+\dot{\omega}L)-h\ddot{\xi}]M_A=F_1l_1-F_2l_2-LR。\qquad (108)$$

现在必須从后一方程式中消去R值。为此，首先将方程式(105)乘以N，而方程式（106）乘以L并将两方程式的左边和右边相加。

进行这一运算則得:

$$[\ddot{x}N+\dot{\omega}(N^2+L^2)+2\dot{x}\omega L]M+[\dot{\omega}(HN+L\lambda-N^2-L^2)$$
$$+\omega^2(\lambda N-NL)+2\dot{\xi}\omega(N\sin\varphi+L\cos\varphi)$$
$$+\ddot{\xi}(L\sin\varphi-N\cos\varphi)]M_A=-F_1N+RL-F_2L。$$

我們将由此方程式得出的R式代入方程式（108）中。代入后則得:

$$\frac{d}{dt}(L\omega)+[(H-N)(\ddot{x}+\omega^2L+\dot{\omega}N)+(\lambda-L)(2\dot{x}\omega-\omega^2N$$
$$+\dot{\omega}L)-h\ddot{\xi}]M_A+[\dot{\omega}(HN+L\lambda-N^2-L^2)+\omega^2(\lambda N-HL)$$
$$+2\dot{\xi}\omega(N\sin\varphi+L\cos\varphi)+\ddot{\xi}(L\sin\varphi-N\cos\varphi)]M_A$$
$$+M[\ddot{x}N+\dot{\omega}(N^2+L^2)+2\dot{x}\omega L]=-F_2(l_2+L)。$$

整理类似項并合并同类項之后，則得:

$$\frac{d}{dt}(L\omega)+\ddot{x}(M_AH+M_BN)-\ddot{\xi}M_A(h+N\cos\varphi-L\sin\varphi)$$
$$+\dot{\omega}M_A(2\lambda L+2HN-L^2-N^2)+2\dot{x}\omega(M_A\lambda+M_BL)$$
$$+\omega M_B(L^2+N^2)+2\dot{\xi}\omega M_A(N\sin\varphi+L\cos\varphi)=m_0, \qquad (109)$$

式中

$m_0=-F_2(l_2+L)$——对于支点O的外力力矩。

因为$I=I_A+I_B+M_A(\xi^2+h^2)$，則方程式（109）可以改写成:

$$\dot{\omega}(I_A+I_B)+\dot{\omega}(\xi^2+h^2)M_A+2\xi\dot{\xi}\omega M_A+\ddot{x}(M_AH+M_BN)$$

$$-\ddot{\xi}(h+N\cos\varphi-L\sin\varphi)M_A+\dot{\omega}(2\lambda L+2HN-L^2$$

$$-N^2)M_A+\dot{\omega}(L^2+N^2)M_B+2\dot{x}\omega(M_A\lambda+M_BL)$$

$$+2\dot{\xi}\omega(N\sin\varphi+L\cos\varphi)M_A=m_0。\qquad(110)$$

該方程式内所含的 ξ^2+h^2 值可表示如下:

$$\xi^2+h^2=(\lambda-L)^2+(H-N)^2。$$

代入方程式（110），則得

$$\dot{\omega}[I_A+L_B+(\lambda^2+H^2)M_A+(L^2+N^2)M_B]$$

$$+2\dot{\xi}\omega(\dot{\xi}+N\sin\varphi+L\cos\varphi)M_A+2\dot{x}\omega(M_A\lambda+M_BL)$$

$$+\ddot{x}(M_AH+M_BN)-\ddot{\xi}(h+N\cos\varphi-L\sin\varphi)M_A=m_0。\qquad(111)$$

为了簡化这一公式，我們求其导数

$$\frac{d}{dt}[I_A+I_B+(\lambda^2+H^2)M_A(L^2+N^2)M_B]。\qquad(112)$$

先求出 λ^2+H^2 和 L^2+N^2 的导数

$$\frac{d}{dt}(\lambda^2+H^2)=2\dot{\lambda}\lambda+2H\dot{H};$$

$$\frac{d}{dt}(L^2+N^2)=2L\dot{L}+2N\dot{N},$$

但

$$\lambda=x\cos\gamma+l\cos\beta-h\sin\varphi+\xi\cos\varphi;$$

$$L=x\cos\gamma+l\cos\beta;$$

$$N=x\sin\gamma+l\sin\beta;$$

$$H=x\sin\gamma+l\sin\beta+h\cos\varphi+\xi\sin\varphi。$$

因而,

$$\dot{\lambda}=\dot{x}\cos\gamma-x\omega\sin\gamma-l\omega\sin\beta-h\omega\cos\varphi+\dot{\xi}\cos\varphi$$

$$-\xi\omega\sin\varphi;$$

$$\dot{L}=\dot{x}\cos\gamma-x\omega\sin\gamma-l\omega\sin\beta;$$

$$\dot{N}=l\omega\cos\beta-\dot{x}\sin\gamma+x\omega\cos\gamma;$$

$$\dot{H}=l\omega\cos\beta-h\omega\sin\varphi+\dot{\xi}\sin\gamma+\xi\omega\cos\varphi+\dot{x}\sin\gamma$$

$$+x\omega\cos\gamma。$$

当 $\gamma=0$ 时，

$$\dot{\lambda}=\dot{x}-l\omega\sin\beta-h\omega\cos\varphi+\dot{\xi}\cos\varphi-\xi\omega\sin\varphi;$$

$$\dot{L}=\dot{x}-l\omega\sin\beta;$$

$$\dot{N}=l\omega\cos\beta+x\omega;$$

$$\dot{H}=l\omega\cos\beta+\dot{\xi}\sin\varphi+\xi\omega\cos\gamma+x\omega-h\omega\sin\varphi。$$

$\dot{\lambda}$；$\dot{L}$；$\dot{N}$；$\dot{H}$ 的公式同样可以写成下列形式：

$$\dot{\lambda}=\dot{x}+\dot{\xi}\cos\varphi-H\omega;$$

$$\dot{L}=\dot{x}-N\omega;$$

$$\dot{N}=L\omega;$$

$$\dot{H}=\lambda\omega+\dot{\xi}\sin\varphi。$$

即

$$\frac{d}{dt}(\lambda^2+H^2)=2\lambda\dot{\lambda}+2H\dot{H}=2\lambda(\dot{x}+\dot{\xi}\cos\varphi-H\omega)$$

$$+2H(\lambda\omega+\dot{\xi}\sin\varphi)=2\lambda\dot{x}+2\dot{\xi}(\lambda\cos\varphi+H\sin\varphi);$$

$$\frac{d}{dt}(L^2+N^2)=2L\dot{L}+2N\dot{N}=2L(\dot{x}-N\omega)+2NL\omega=2L\dot{x}。$$

因而，

$$\frac{d}{dt}[I_A+I_B+(\lambda^2+H^2)M_A+(L^2+N^2)M_B]$$

$$=2M_A\dot{\xi}(\lambda\cos\varphi+H\sin\varphi)+2\dot{x}(M_A\lambda+M_BL)。$$

利用所得出的結果，可以把方程式（111）写成下一形式：

$$\frac{d}{dt}(I_0\omega)+\ddot{x}(M_AH+M_BN)-\ddot{\xi}qM_A=m_0,$$

式中

$I_0=I_A+I_B+(\lambda^2+H^2)M_A+(L^2+N^2)m_B$——整个武器对支点 O 的轉动慣量；

$q=h+N\cos\varphi-L\sin\varphi$——圖 60 中所示的距离；

$m_0=F_1(l_1-N)-F_2(l_2+L)$——所有外力对支点 O 的力矩。

这样一来，对于所研究的情况来講，最后得出下列方程組：

$$\ddot{x}(M_A+M_B)+\omega^2(M_BL+M_A\lambda)+\dot{\omega}(M_BN+M_AH)$$
$$-\ddot{\xi}M_A\cos\varphi+2\dot{\xi}\omega M_A\sin\varphi=-F_1; \tag{113}$$
$$[\ddot{x}\cos\varphi-2\dot{x}\omega\sin\varphi-\ddot{\xi}+\omega^2k+\dot{\omega}q]M_A=-\Pi; \tag{114}$$
$$\frac{d}{dt}(I_0\omega)+\ddot{x}(M_AH+M_BN)-\ddot{\xi}qM_A=m_0, \tag{115}$$

式中

$k=L\cos\varphi+N\sin\varphi+\xi$——圖60中所示的尺寸。

上面所求得的公式可以用在一系列的特殊情况，例如，当 $x=0$ 时，$\varphi=0$ 时等。

在所有这些情况下，公式都能簡化一些。

§4 射击时手提式武器稳定性計算示例

假設要計算导气式自动机的武器在射击时于垂直面上轉动的角度。



为了使問題簡化起見，假設武器机匣質心和活动部分質心位于同一个垂直面上，而且所有的力和冲量亦作用在此平面內。我們还假設，在發射前，槍膛軸綫居水平位置（$\varphi=0$）。

在整个自动机工作循环时間內，我們把活动部分的質量看作为常量，把自动机活动部分速度变化真实圖解簡化一下，即用直綫綫段代替复杂的曲綫，但由直綫所圍成的面积須与由曲綫所圍成的面积相同（圖61）。

圖62所示为自动槍原理圖及説明以时間为函数的 ξ、$\dot{\xi}$、$\ddot{\xi}$ 諸值变化圖解。

为了解所討論的例題，假設下列数据已知：

自动武器机匣的質量 $M_B=0.4\frac{кг/сек^2}{м}$;

自动机活动部分的質量 $M_A=0.1\frac{кг/сек^2}{м}$;

自动武器机匣对过其質心的水平軸的轉动慣量

$I_B=0.02$ кг м сек^2;

自动机活动部分对过其質心的水平軸的轉动慣量

$I_A = 0.001\ \kappa\imath\mathcal{M}/ce\kappa^2$;

人肩的反作用力 $F_1 = 10\ \kappa\imath$;

左手的反作用力 $F_2 = 2\ \kappa\imath$;

F_1 的力臂 $l_1 = 0.04\ \mathcal{M}$;

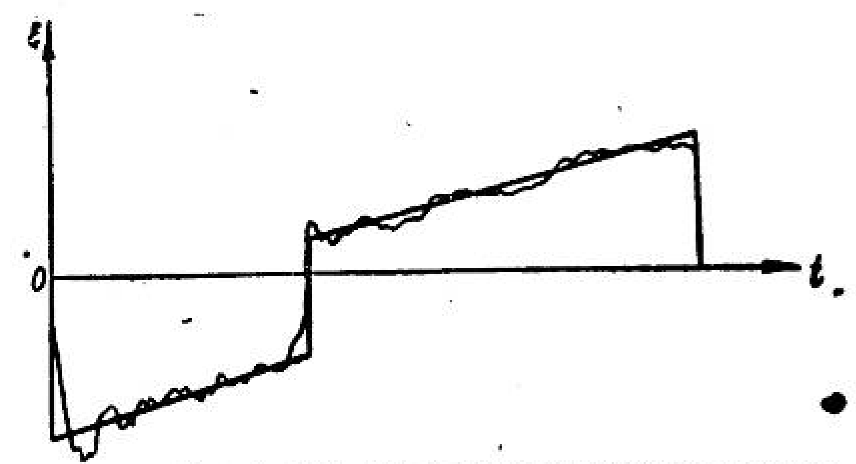


圖61 表示自动机各部分相对速度变化的眞实圖解和简化圖解。

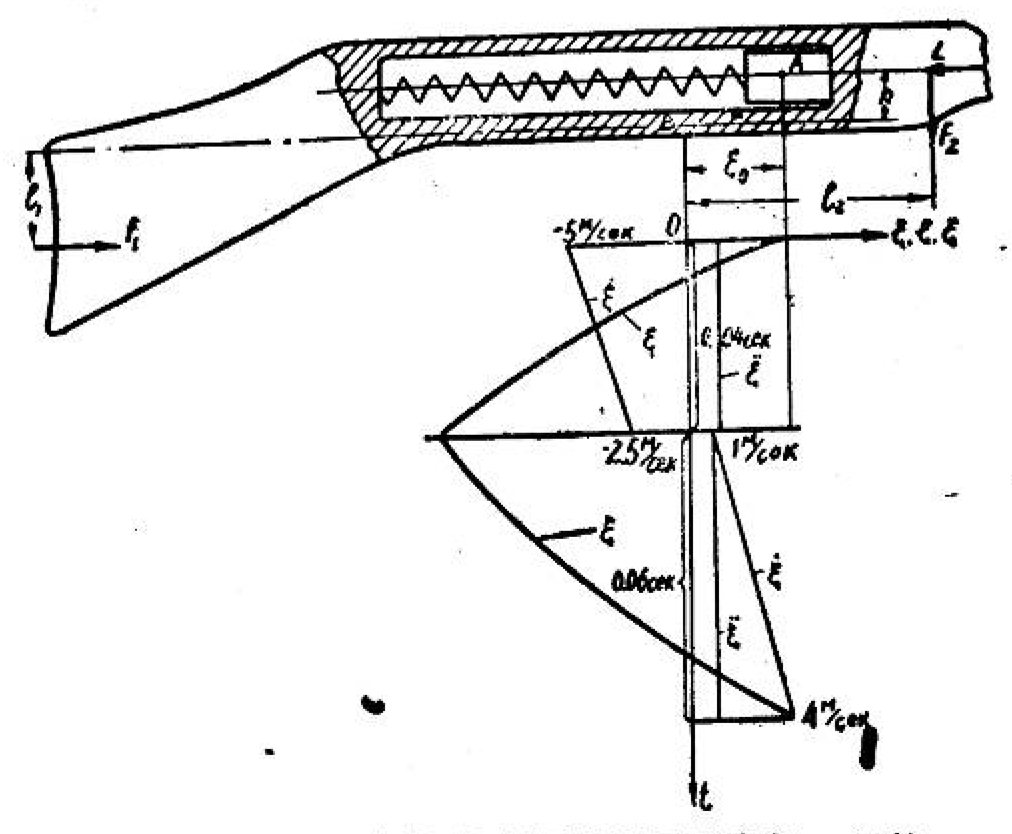


圖62 整个武器和自动机活动部分运动原理圖（φ = 0 时）。

F_2 的力臂 $l_2=0.8$ м;

在發射开始瞬間自动机活动部分質心相对自动槍机匣質心(点 B)的座标 $\xi_0=0.04$ м;

$h=0.02$ м;

作用于槍膛底部的火藥气体压力冲量 $i=0.9$ кг сек。

〔解〕

我們認为，自动机工作开始前，活动部分相对自动武器机匣不作位移。因而，在該种情况下，在冲量作用下自动槍在垂直面上将对其質心轉动。

整个自动槍的質心（点 C）相对机匣質心（点 B）的座标可以按下一公式求出:

$$x_{BC}=\frac{M_A}{M_A+M_B}\xi_0=0.008\ м,$$



$$y_{BC}=\frac{M_A}{M_A+M_B}h=0.004\ м。$$

因而，活动部分質心（点 A）相对整个自动槍質心(点 C)的座标:

$$x_{AC}=\xi_0-x_{BC}=0.032\ м,$$

$$y_{AC}=h-y_{BC}=0.016\ м。$$

卽膛底火藥气体压力冲量相对，点 C 的作用力臂为:

$$y_i=y_{AC}=0.016\ м。$$

整个自动槍相对其質心（点 C）的轉动慣量。

$$I_C=I_A+I_B+\frac{M_AM_B}{M_A+M_B}(h^2+\xi_0^2)\approx 0.021\ кг.мсек^2$$

此結果証明，整个自动槍相对其質心的轉动慣量大致等于轉动慣量之和 I_A+I_B。

由于只有一个冲量 i 作用，因此，整个自动槍获得了对質心的动量矩增量和質心动量增量。

自动槍对其質心的角速度和冲量 i 作用后自动槍的質心速度可以根据下一公式求出:

$$\omega'=\omega+\frac{iy_i}{I_C},$$

$$V'_{Cx}=V_{Cx}+\frac{i}{M_A+M_B}。$$

假設，發射前自动槍处于靜止状态 $\omega=0$ 和 $V_{Cx}=0$，把各数値代入上述公式中，則得[●]

$$\omega'=0.69\ {}^1/cek,$$

$$V'_{Cx}=1.8\ м/cek。$$

点 A 和点 B 的速度（机匣質心，活动部分質心）可按下一公式求出：

$$V'_{Ax}=V'_{Cx}+\omega' y_{Ac}\approx 1.8\ м/cek;$$

$$V'_{Ay}=V'_{Cy}+\omega' x_{Ac}=0.022\ м/cek;$$

$$V'_{Bx}=V'_{Cx}-\omega y_{BC}\approx 1.8\ м/cek;$$

$$V'_{By}=V'_{Cy}-\omega x_{BC}\approx 0\ 。$$

求此結果时沒有考慮到因彈丸运动而引起的作用于整个武器上的旋轉力矩和迴轉力矩。

考慮这些力矩对此結果的改变很小。所以，評价自动武器稳定性时在計算中可以不考慮它們。

在必須考慮因彈丸运动而引起的旋轉力矩时可以利用上面所求得的整个武器和自动机各部分平稳运动公式，用彈丸質量代替自动机活动部分的質量。

我們繼續所討論的例題，假設，在冲量 i 之后立刻作用有导气箍内的火藥气体压力冲量，此冲量使自动机活动部分速度瞬时增加到 5 $м/cek$。

由此冲量作用而引起的自动槍角速度增量可以根据下一公式求出[●]。

$$\omega'=\omega+\frac{\psi}{h}\frac{\alpha}{1+\alpha},$$

式中

ω——初角速度（$\omega=0.69\ {}^1/cek$）;

● $V_{Cy}=V'_{Cy}=0$。

● 参看64頁。

ψ——导气箍内的火藥气体压力作用后，点 A 对于点 B 的速度在水平軸上的投影（$\psi=-5$ м/сек）。

后一公式中的系数 α 等于

$$\alpha=\frac{h^2}{(I_A+I_B)\left(\frac{M_A+M_B}{M_A M_B}\right)+\xi_0^2}=0.00152。$$

把 ω' 的公式中所含各量的数值代入，则得

$$\omega'=0.31\ ^1/сек。$$

机匣質心速度和活动部分質心速度（点 B 和点 A）按下列公式[●] 求出

$$V'_{Ax}=V_{Ax}-\frac{\psi}{1+\frac{M_A}{M_B}}\ \frac{1}{1+\alpha}=5.8\ м/сек;$$

$$V'_{Ay}=V_{Ay}+\frac{\psi}{1+\frac{M_A}{M_B}}\ \frac{\xi_0}{h}\ \frac{\alpha}{1+\alpha}=0.01\ м/сек;$$

$$V'_{Bx}=V_{Bx}+\frac{\psi}{1+\frac{M_B}{M_A}}\ \frac{1}{1+\alpha}=0.8\ м/сек;$$

$$V'_{By}=V'_{By}-\frac{\psi}{1+\frac{M_B}{M_A}}\ \frac{\xi_0}{h}\ \frac{\alpha}{1+\alpha}\approx 0。$$

其次，活动部分向最后方位置作平稳运动（沒有撞击的运动）。为了确定在此时期的运动諸元，我們利用下列方程式[●]：

$$\dot V_{Bx}(M_A+M_B)=\ddot\xi M_A-F_1;\quad \dot V_{By}(M_A+M_B)=-2\dot\xi\omega M_A-F_2;$$

$$\frac{d}{dt}(I_0\omega)=\pi h+m_0,$$

式中

$$\pi h=\frac{M_A M_B}{M_A+M_B}h\ddot\xi;$$

$$m_0=F_2\left(\xi\frac{M_A}{M_A+M_B}-l_2\right)+F_1\left(h\frac{M_A}{M_A+M_B}+l_1\right);$$

$$I_0=I_A+I_B+\frac{M_A M_B}{M_A+M_B}(\xi^2+h^2)。$$

● 参看63頁。

● 参看81和82頁。

将公式中所含各量的值代入后面的諸公式中，则得

$$\pi h=0.0016\ddot{\xi};\ m_0=0.28+0.4\xi;$$

$$I_0=0.021+0.08(0.0004+\xi^2)。$$

对于所討論的运动期来講，

$$\ddot{\xi}=62.5\ м/сек^2,\ \xi=(0.04至-0.11)м。$$

因而，

$$\pi h=0.1\ кгм;$$

$$m_0=0.296\ кг\ м\ (当\ \xi=0.04\ м);$$

$$m_0=0.236\ кг\ м\ (当\ \xi=-0.11\ м);$$

$$I_0=0.0214\ кг\ м\ сек^2\ (当\ \xi=0.04\ м);$$

$$I_0=0.0224\ кг\ м\ сек^2\ (当\ \xi=-0.11\ м)。$$

取其平均值

$$I_0=\frac{0.0214+0.0222}{2}=0.022\ кг\ м\ сек^2;$$

$$m_0=\frac{0.296+0.236}{2}=0.266\ кг\ м。$$

此时，运动微分方程式的形式如下：

$$\dot{V}_{Bx}=-7.5;$$

$$\dot{V}_{By}=-4-0.4\dot{\xi}\omega;$$

$$\frac{d\omega}{dt}=16.6。$$

积分第一个方程式和最后一个方程式，则得

$$V_{Bx}=V_{Bx0}-7.5t;\ x_B=x_{B0}+V_{Bx0}t-3.75t^2;$$

$$\omega=\omega_0+16.6t;\ \varphi=\varphi_0+\omega_0 t+8.4t^2。$$

为了积分第二个方程式，需要表明 $\dot{\xi}=f(t)$。利用圖 62 中的圖解，则得

$$\dot{\xi}=\dot{\xi}_0+\ddot{\xi}t。$$

即

$$\dot{V}_{By}=-4-0.4(\dot{\xi}_0+\ddot{\xi}t)(\omega_0+16.6t)。$$

当

$\dot{\xi}_0 = -5\ м/сек$; $\ddot{\xi} = 62.5 м/сек^2$; $\omega_0 = 0.31 м/сек$时，

得

$$\dot{V}_{By} = -3.38 + 25.5\,t - 415 t^2。$$

由此求出

$$V_{By} = V_{By0} - 3.38\,t + 12.75\,t^2 - 138\,t^3;$$

$$y_B = y_{B_0} + V_{By_0} t - 1.69\,t^2 + 4.25\,t^3 - 34.5\,t^4。$$

当

$$V_{Bx_0} = 0.8\ м/сек;\ V_{By_0} = 0;$$

$$x_{B_0} = 0;\ y_{B_0} = 0;$$

$$\omega_0 = 0.31^1/сек;\quad t = 0.04\ сек;\ \varphi_0 = 0\ 时,$$

则得

$V_{Bx} = 0.5\ м/сек$; $V_{By} = -0.114 м/сек$; $\omega = 0.97^1/сек$;

$x_B = 24\ мм$; $y_B = -2\ мм$; $\varphi = 0.0262$ 弧度($0°43'$)。

速度 V_{Ax} 和 V_{Ay} 可以根据下列运动关系式求出（当 $\varphi = 0$ 时）：

$$V_{Ax} = V_{Bx} + \omega h - \dot{\xi},$$

$$V_{Ay} = V_{By} + \omega\xi。$$

把上面所求得的 V_{Bx}，V_{By}，ω 和 $\dot{\xi}$ 的值代入，则得

$$V_{Ax} = 3\ м/сек;$$

$$V_{Ay} = -0.22 м/сек。$$

当活动部分到达最后方位置时对枪尾發生撞击。

撞击后的速度可按下列公式求出：

$$V'_{Ax} = V_{Ax} - \frac{W_0(1+b)}{1+\frac{M_A}{M_B}}\ \frac{1}{1+\alpha};$$

$$V'_{Ay} = V_{Ay} + \frac{W_0(1+b)}{1+\frac{M_A}{M_B}}\ \frac{\xi}{h}\ \frac{\alpha}{1+\alpha};$$

$$V'_{Bx} = V_{Bx} + \frac{W_0(1+b)}{1+\frac{M_B}{M_A}}\ \frac{1}{1+\alpha};$$

$$V'_{By}=V_{By}-\frac{W_0(1+b)}{1+\frac{M_B}{M_A}}\frac{\xi}{h}\frac{\alpha}{1+\alpha};$$

$$\omega'=\omega+W_0(1+b)\frac{1}{h}\frac{\alpha}{1+\alpha},$$

式中

$$W_0=V_{Ax}-V_{Bx}-\omega h,$$

$$\alpha=\frac{h^2}{(I_A+I_B)\frac{M_A+M_B}{M_AM_B}+\xi^2}。$$

将各数值代入上述公式中（当 $b=0.4$时），则得：

$$\alpha=0.00146;$$

$$V'_{Ax}=0.17м/сек;$$

$$V'_{Bx}=1.15м/сек;$$

$$\omega'=1.22\ 1/сек;$$

$$W_0=2.5м/сек;$$

$$V'_{Ay}=-0.242м/сек;$$

$$V'_{By}=-0.109м/сек。$$

撞击后，活动部分复进。此运动可以用在研究活动部分后退运动时已应用的微分方程式表示之。

$$\dot{V}_{Bx}(M_A+M_B)=\ddot{\xi}M_A-F_1;$$

$$\dot{V}_{By}(M_A+M_B)=-2\dot{\xi}\omega M_A-F_2;$$

$$\frac{d}{dt}(I\omega)=\pi h+m_0。$$

将各数值代入这些微分方程式中，则得：

$$\dot{V}_{Bx}=0.2\ddot{\xi}-20;$$

$$V_{By}=-4-0.4\dot{\xi}\omega;$$

$$I_0\dot{\omega}=\pi h+m_0,$$

式中：

$$\pi h=0.0016\ddot{\xi}\ кгм;$$

$$m_0=0.266кгм;$$

$$I_0=0.022кг\,м\,сек^2;$$

$$\ddot{\xi}=50м/сек^2;$$

$$\dot{\xi}=1+50t。$$

用这些数值时后面的公式变成如下的形式：

$$\dot{V}_{Bx}=-10;$$

$$\dot{V}_{By}=-4-0.4(1+50t)\omega;$$

$$\ddot{\omega}=15.7。$$

积分后，得下列结果：

$$V_{Bx}=V_{Bx0}-10t;$$

$$x_B=x_{B0}+V_{Bx0}t-5t^2;$$

$$V_{By}=V_{By0}-4t-0.4\omega_0t-3.15t^2-10\omega_0t-105t^3;$$

$$y_B=y_{B0}+V_{By0}t-2t^2-0.2\omega_0t^2-1.05t^3-3.3\omega_0t^3-26t^4;$$

$$\omega=\omega_0+15.7t;$$

$$\varphi=\varphi_0+\omega_ct+7.85t^2。$$

在这些方程式中

$$V_{Bx0}=1.15м/сек;\qquad x_{B0}=24мм;$$

$$V_{By0}=0.109м/сек;\qquad y_{B0}=-2мм;$$

$$\omega_0=1.22\,1/сек;\quad \varphi_0=0.0262弧度。$$

当时間 $t=0.06сек$时，用这些起始值则得

$$V_{Bx}=0.55м/сек;\qquad x_B=75мм;$$

$$V_{By}=-0.71м/сек;\qquad y_B=-17.7мм;$$

$$\omega=2.16\,1/сек;\qquad \varphi\doteq0.0618(3°33')。$$

点 A 的速度按下列公式求出：

$$V_{Ax}=V_{Bx}+\omega h-\dot{\xi},$$

$$V_{Ay}=V_{By}+\omega\xi。$$

在該种情况下

$$V_{Bx}=0.55м/сек;\quad V_{By}=-0.71м/сек;\quad \omega=2.16\,1/сек;$$

$$\dot{\xi}=4\,м/сек;\qquad \xi=40\,мм;\qquad h=20\,мм。$$

用这些数值时，则得

$$V_{Ax} = -3.41 м/сек, \qquad V_{Ay} = -0.63 м/сек。$$

为了确定活动部分在最前方位置撞击后的速度，我們可利用前面已講过的求活动部分在后方位置撞击后的速度的公式。

把具体数值代入这些公式中，則得

$$W_0 = -4\ м/сек; \qquad \alpha = 0.00153;$$

$$V'_{Ax} = 1.07 м/сек; \qquad V'_{Ay} = 0.644 м/сек;$$

$$V'_{Bx} = -0.57 м/сек;\ V'_{By} = 0.71 м/сек;\ \omega = 1.74\ 1/сек。$$

所得的結果列于表（見下頁）● 中。

圖 63 所示为以时間为函数的活动部分的位移和整个武器的轉动角圖解。

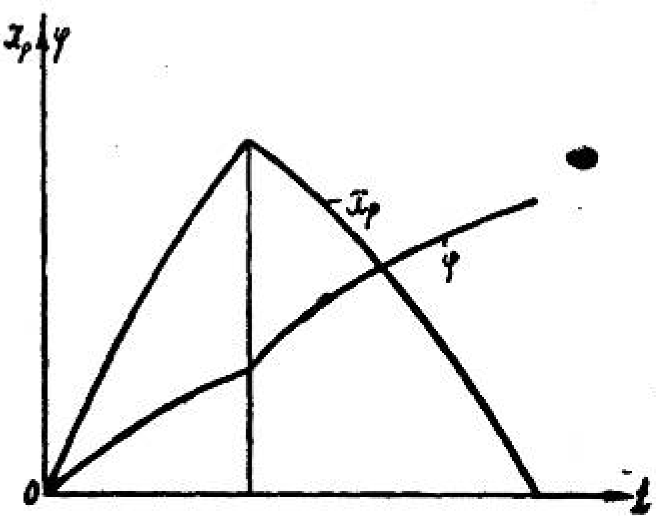


圖63 表示在垂直面上活动部分位移 x_p 和武器轉动角 φ 的圖解。

評价所得計算結果时应該注意到，由于原始量值是有条件的，因此計算結果也是有条件的。

采用上述的方法同样可以研究連發时下一次發射中武器的运动。此时为了研究每次自动机工作循环时武器的运动，要考虑前次自动机工作循环結束时所产生的初速度和位移。

如果在研究武器稳定性时不可能認为，所有冲量和力同在过撞击体質心的平面上，那么应該应用研究空間运动的公式。在这种情况下然后利用上述方法。

● 表中的分子代表撞击前的速度，分母代表撞击后的速度。

發射瞬間	t	V_{Ax}	V_{Ay}	V_{Bx}	V_{By}	ω	x_B	y_B	φ
	сек	м/сек	м/сек	м/сек	м/сек	1/сек	мм	мм	рад
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
槍膛底部上的冲量作用	0	1.8	0.022	1.8	0	0.69	0	0	0
导气箍内的冲量作用	0	5.8	0.01	0.8	0	0.31	0	0	0
活动部分到达最后方位置	0.04	3/0.17	−0.22/−0.242	0.5/1.15	−0.114/−0.109	0.97/1.22	24	−2	0.0262
活动部分到达最前方位置	0.1	−3.41/1.07	−0.63/−0.644	0.55/−0.57	−0.71/−0.71	2.16/1.74	75	−17.7	0.0618

第三章　自动机計算示例

我們以計算导气式自动武器和槍管短后座式自动武器的自动机为例来討論一下如何应用上述的方法来計算自动武器各机构构件运动諸元。

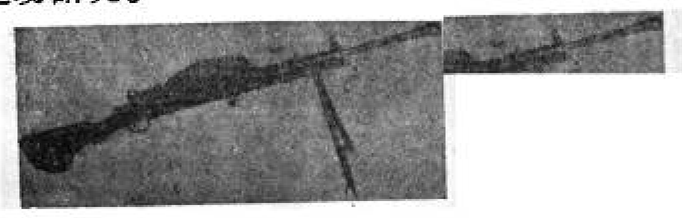


圖64　德普式机槍。

自动机的計算是在武器剛性連結和緩冲的条件下进行的。

我們选擇德普式机槍和*MG*-42机槍作为計算的对象。德普式机槍(圖64)的构造最簡單；其自动机工作时，在大部分循环时間內部件的运动都是在彈簧作用下进行的。*MG*-42机槍(圖65)的构造复杂；其自动机工作时各部件的运动主要是由于它們运动的約束作用而完成的。这两种自动武器的自动机工作特点决定了应用不同的方法来計算自动机的适宜性。

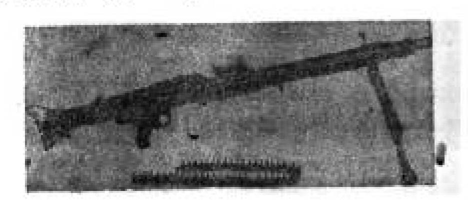


圖65　MG-42 机槍。

§1 导气式自动机的計算（德普式）

如上所述，德普式机槍的构造極為簡單（圖 64 和66）。槍机的閉鎖是用两塊閉鎖卡鉄来实現的。閉鎖时这两塊閉鎖卡鉄借与槍机框相連接的击針的作用而張开，而在开鎖时借槍机框的斜面的作用而收縮。

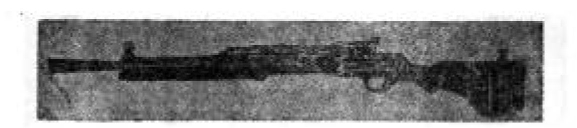


圖66 德普式机槍的縱剖面。

机槍是利用彈盘供彈的。机槍沒有緩冲裝置。

在表中列有德普式机槍的主要重量諸元。

部件名称	重量 (кг)	質量 $\frac{кг \cdot сек^2}{м}$
带閉鎖卡鉄的槍机	$Q_з=0.346$	$M_з=0.0351$
带击針的槍机框	$Q_p=0.785$	$M_p=0.08$
复进簧	$Q_п=0.035$	$M_п=0.004$
带后座滑板的机槍槍身（不带自动机活动部分）	$Q_к=42.64$	$M_к=1.290$
緩冲器彈簧	$Q_a=0.170$	$M_a=0.0173$

圖 67 和 68 所示的是說明自动机各部分質量和作用力变化的圖解。計算自动机活动部分質量时，在槍机框的質量上加三分之一的复进簧質量，在抽壳期間在槍机質量上加上彈壳質量（$m_г=0.001$ кг. сек^2/м），而在供彈期間加上槍彈質量（$m_п=0.0023$ кг сек^2/м）。

德普式机槍的槍机閉鎖机构的构造（閉鎖卡鉄借助于击針的作用而分开）使槍机框与槍机一起运动时产生很大的摩擦力。将

此阻力作为常量（$R = 1$ кг）来考虑。在圖解上所示的作用力值已考虑到此阻力之作用。

由彈盘推出槍彈时所产生的阻力之絕对值，等于由彈盘供彈时槍机框运动段上的复进簧平均彈簧內力。

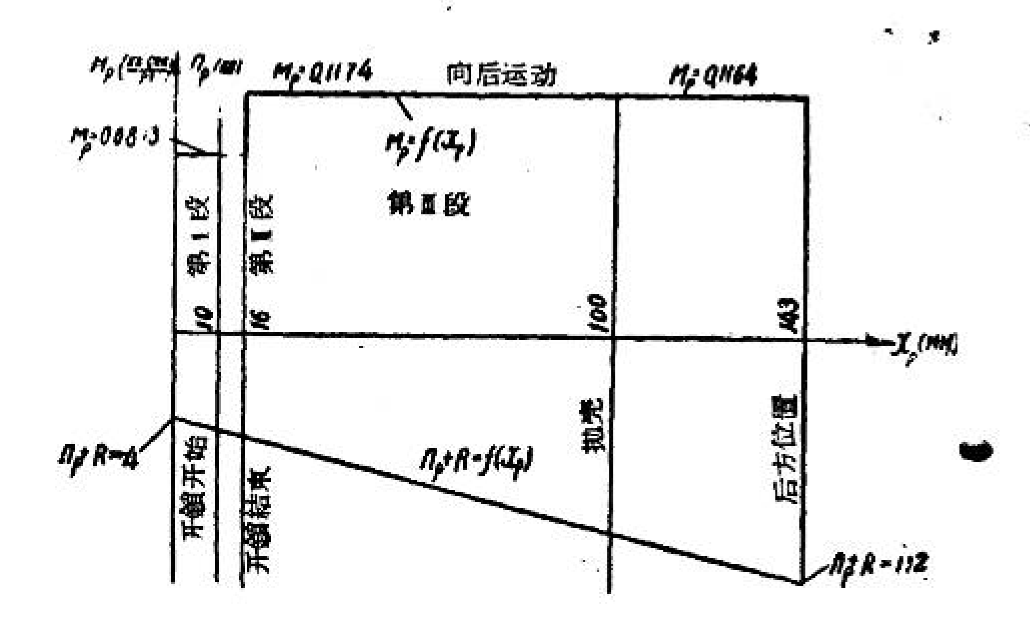


圖67　質量和力的变化圖解。

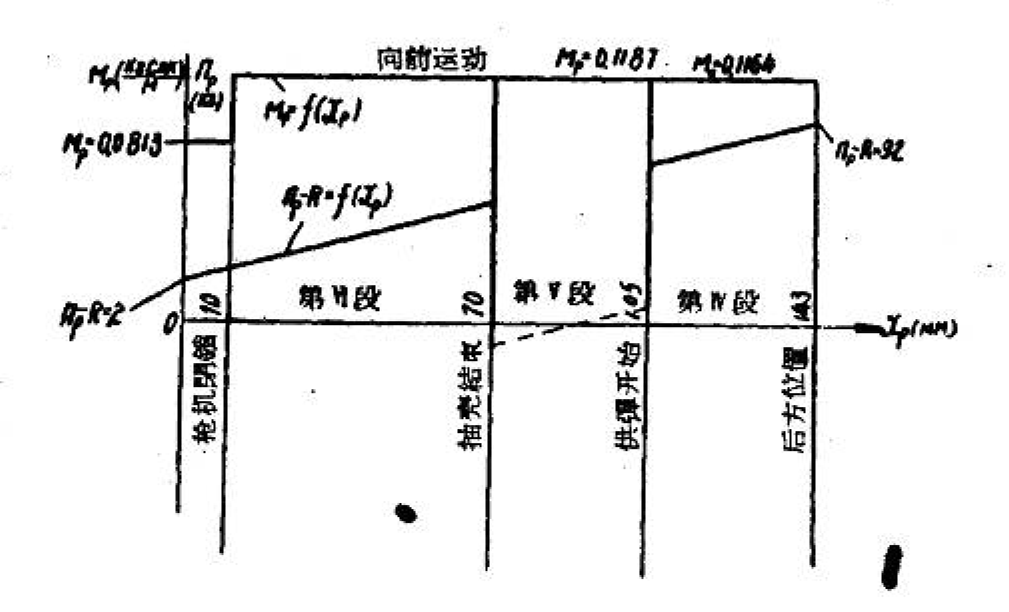


圖68　質量和力的变化圖解。

1.在武器剛性連結的条件下自动机的計算

第1段 槍机框自由行程（$x_p = 0 \sim 10мм$）

計算在此期間的运动特征数曾举例⊖說明，例中得出下列結果：

槍机框自由行程結束时

$$V_p = 6.6м/сек, \quad t = 0.0025сек。$$

求速度V_p时沒有考虑到复进簧的阻力。

注意到，复进簧的阻力比导气箍內的火藥气体压力小得多，对此阻力可以近似地来考虑，因此可以把复进簧的阻力看作是一常量。

考虑到复进簧的阻力，在槍机开鎖开始时槍机框的速度等于$V_p = 6.4м/сек$。

最后，在所研究的运动段結束时，得下列运动特征数：

x_p мм	V_p м/сек	t сек
10	6.4	0.0025

第2段 槍机框在与槍机联接前的运动（$x_p = 10 \sim 16мм$）

槍机开鎖时槍机框的斜面对閉鎖卡鉄的突出部發生斜撞击。

这种撞击情况已作为例子⊖討論过，例中确定了下列替换質量的数值：

$$m_A = 0.081 кг\ сек^2/м;$$

$$m_B = 0.01 кг\ сек^2/м;$$

m_A——槍机框的替换質量；

m_B——击針的替换質量。

例中还确定了傳速比：

⊖ 参看本書上册原文第102頁。

⊖ 参看本書上册原文第384頁。

$$k=\frac{v_B}{v_A}=0.425。$$

已知撞击前槍机框的速度

$$V_p=6.4\ м/сек,$$

而閉鎖卡鉄質量集中点 B 在撞击前的速度 $V_B=0$ 并利用下一公式

$$V_p'=V_p-\frac{V_p(1+b)}{1+\frac{m_A}{m_B k^2}},$$

則槍机框在与閉鉄卡鉄撞击后的速度（恢复系数 $b=0.4$时）

$$V_p'=6.2\ м/сек。$$

我們假設，此撞击是瞬时發生的，而槍机框速度的改变值为 $\Delta V_p=V_p-V_p'$，則可依下一公式求出下一运动段上槍机框的速度和位移：

$$V_p=\frac{s_п\, i_0}{M_p}k_V-\Delta V_p,$$

$$x_p=\frac{s_п\, i_0\, b}{M_p}k_x-\Delta V_p(t-t_1)。$$

在所討論的情况下

$$s_п=1.13см^2;\ i_0=0.84\ кг\ сек/см^2;\ M_p=0.081кг;$$

$$t_1=0.025сек。$$

因而，

$$V_p=11.8k_V-\Delta V_p,$$

$$x_p=0.0136k_x-\Delta V_p(t-t_1)。$$

根据后一公式可以求出关系式 $x_p=f(t)$。

由計算結果得出求未知关系的圖解(圖69)和表：

t сек	0.0025	0.003	0.004
x_p мм	10	12.5	19.5

我們利用圖解(圖69)可以求出与槍机框撞击槍机的瞬間相对应的槍机框运动时間($x_p=16мм$)；$t=0.0035сек$。

利用該时間可以求出系数$k_V=0.63$和槍机框撞击槍机的瞬間槍机框的速度

$$V_p=7.2\,м/сек。$$

考虑到复进簧的阻力和摩擦力，我們将修正量代入所求出的諸值中，则得槍机框撞击槍机瞬間槍机框的运动特征数如下：

t сек	V_p м/сек	x_p мм
0.0035	6.60	16

槍机框对槍机的撞击是屬于各机构构件直接撞击的情况。

这里如同大部分的閉鎖机构結构一样，槍机框与槍机可能發生連續数次的撞击（对槍机突出部的撞击，对閉鎖卡鉄的撞击，圖70）。

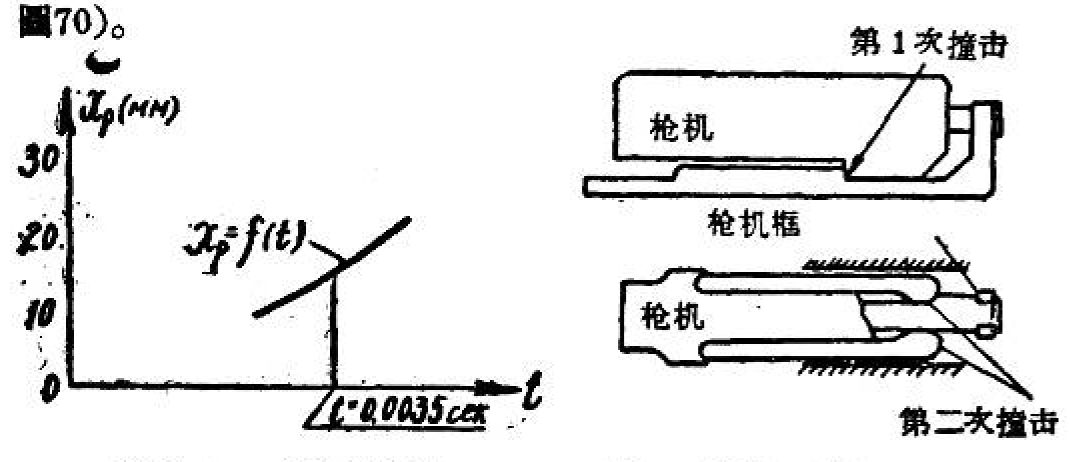


圖69　$x_p=f(t)$圖解。　　圖70　槍机框对枪机的撞击圖。

撞击之后，槍机和槍机框的速度可視作两种非弹性体的直接撞击后的速度，依下一公式确定之：

$$V'_p=V_p\frac{M_p}{M_p+M_з}。$$

將数值代入此公式中，则得：

$$V'_p=4.6\,м/сек。$$

第3段　槍机向后方位置的运动（$x_p=16\sim143$ мм）

在此运动段上，槍机与槍机框一起向后方位置运动并同时受到复进簧阻力的作用。

在此段的初期，膛內火藥气体的压力朝向槍机运动的方向作用于彈壳底上，而抽壳力以相反的方向作用于彈壳底上。当自动机在正常的工作条件下可以認为这两个力大致互相抵消。

这样一来，在所采用的假設条件下，我們可以把这一段上槍机框与槍机的运动看作是受彈簧阻力作用的平移直綫运动。

我們用圖解解析法（圖 71）来研究此运动并利用下列原始数据：

$f=\frac{\Pi_p+R}{\eta}=96$ мм——在所研究的运动期开始时（圖 67 的圖解），复进簧的預压量（考慮到阻力 R）；

$V_p=4.6$ м/сек——在此运动期开始时槍机框和槍机的初速（槍机框和槍机連接后的速度）；

$\eta=50$ кг/м——复进簧的剛度系数；

$p=\sqrt{\frac{\eta}{M_p+M_3}}=20.6\ 1/сек$——武器自由振动圓周頻率；

$$\frac{V_p'}{p}=0.223м。$$

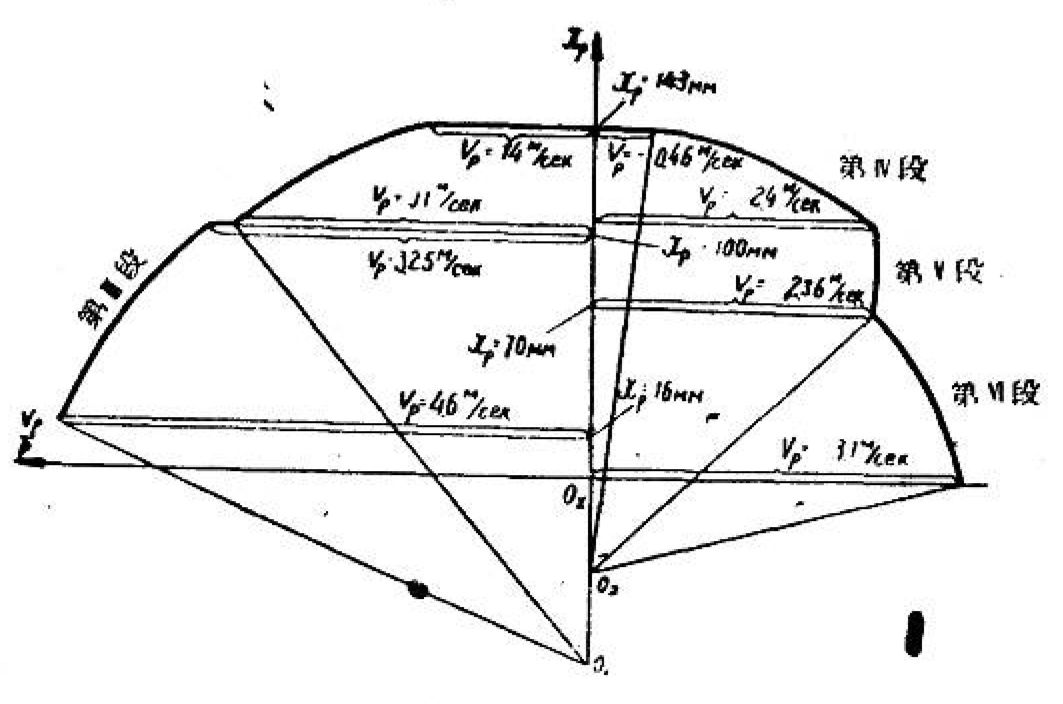


圖71 圖解作圖。

为了进行圖解解析計算，給出下列比例：$\alpha_x=2$，$\alpha_t=0.0005$ *сек/мм*和角度 $\Delta\alpha=0.262$。

我們求出間距 h 和比例尺α_V

$$h=\frac{\Delta\alpha}{p\alpha_t}=0.0255\text{м},$$

$$\alpha_V=P\alpha_x=0.0412\text{м/сек. мм}。$$

圖71所示的是确定在所研究的运动期內（从縱座标軸的左边起）槍机框位移和速度与时間的关系所必需的作圖。

根据圖71的圖解我們求出，拋壳瞬間（在此运动期移动 $x_p=100$ *мм* 之后）槍机框的速度等于$V_p=3.25$ *м/сек*。

拋壳时（圖72）拋壳挺与彈底緣發生的撞击。此撞击情況可以用原理圖說明之(圖73)。

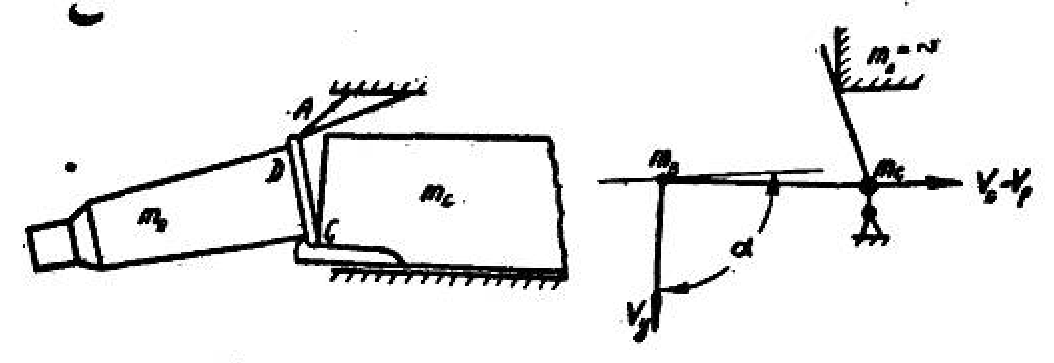


圖72 拋壳圖。　　圖73 原理圖。

为了求出拋壳后槍机框的速度，我們利用求三个构件撞击的公式，当 $V_A=0$；$V_C=V_p$；$V_y=0$ 时，此公式[●]的形式如下：

$$V_p'=V_p-\frac{V_p(1+b)\left(\frac{\mu-1}{\mu}\right)\frac{m_A}{m'}}{1+\frac{m_A}{m_B k^2\mu}};$$

机槍剛性連接时($m_A=\infty$)，則得

$$\mu=\infty;\ \left(\frac{\mu-1}{\mu}\right)\frac{m_A}{m'}=1;$$

$$\frac{m_A}{\mu}=\frac{m_C+m_B(1-k\cos\alpha)}{k-\cos\alpha}k,$$

● 参看本書上冊原文第373頁。

式中

m_C——槍机框和槍机的質量；

m_B——彈壳的替換質量(圖73)

$$m_B = 0.001\ кг.\ сек^2/м;$$

b——恢复系数；

α——圖 73 所示的角度；

k——傳速比($k=2$)(圖74)。

将数值代入 V'_p 和 $\frac{m_A}{\mu}$ 的公式中，則得

$$\frac{m_A}{\mu} = 0.117,\ V'_p = 3.1。$$

槍机框向最后方位置的繼續运动与抛壳前受复进簧阻力时的运动相同。

用圖解解析法研究此运动的情形示于圖 71 中。

我們根据所作的圖解求出槍机框同槍机在最后方位置时的速度 $V_p = 1.4\ м/сек$。带槍机的槍机框以此速度与剛性連接的槍尾發生撞击。

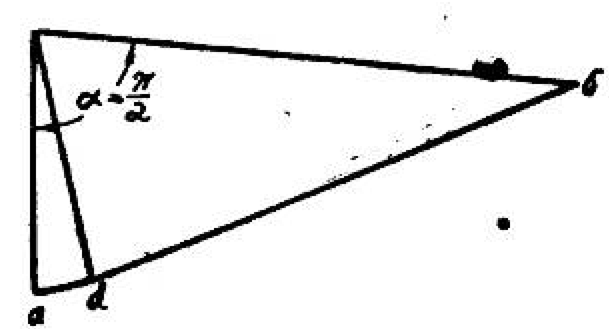


圖74 極速度的。

撞击时閉鎖卡鉄張开并引起很大摩擦力。

自动机活动部分在后方位置撞击的情况已作为例子討論过●。例中表明，可以用适当减小恢复系数的方法来考虑这些摩擦力。例如，对于所研究的撞击情况来講，恢复系数值为 $b_q = 0.32$。采用此恢复系数值时，槍机框撞击后的速度为:

$$V'_p = -V_p b_q = -0.46 м/сек。$$

第 4 段 槍机框在供彈开始前的运动 ($x_p = 143 \sim 105мм$)

在此段上槍机框同槍机一起在复进簧作用下移动。

● 参看本書上册原文第347頁。

活动部分質量的大小和复进簧力的变化示于質量和力的圖解中(圖68)。

在此段上的槍机框运动的圖解解析研究示于圖71縱座标軸的右边。

彈盘供彈开始之前的运动特征数如下:

x_p мм	V_p м/сек	t сек
105	—2.4	0.0695

在此段結束时槍机与位于彈盘內的一顆槍彈發生撞击。我們認为此撞击是非彈性的，則得下述的槍机框在撞击后的速度:

$$V'_p = V_p \frac{M_p}{M_p + M_п},$$

式中

$M_п = 0.0023$ кг. сек²/м——槍彈質量;

$M_p = 0.1164$ кг. сек²/м——槍机框和槍机的質量。

第5段 槍机框在供彈时的运动 ($x_p = 105 \sim 70$ мм)

在此段上槍机框与槍机一起在复进簧的作用下移动并同时受增大的阻力的作用。此段上力的变化規律示于圖解中(圖68)。对此段上的运动的圖解解析研究与前一运动段上的运动的研究完全相同(圖71)。

此段結束时，得下列运动特征数:

x_p мм	V_p м/сек	t сек
70	—2.36	0.0847

第6段 槍机框向最前方位置的运动 ($x_p = 70 \sim 0$ мм)

在此段上，槍机閉鎖前，槍机框与槍机在彈簧作用下一起移动。因为槍机的閉鎖是在槍机框在最后的10мм的路程上运动时發生的，并且这个运动对自动机的工作沒有显著的影响，所以我們認为，在此整个运动段上槍机框与槍机是作平移直綫运动的。

对此段上的运动的圖解解析研究示于圖71的縱座标軸右边。此段結束时（自动机工作循环結束时），得下列运动特征数：

x_p *мм*	V_p *м/сек*	t *сек*
0	—3.1	0.11

因而，自动机工作循环时間：

$$t_ц = 0.11\ сек,$$

所予期的射击速度

$$n = \frac{60}{t_ц} = 545 выстр/мин(發/分)。$$

对德普式机槍作試驗研究时所得出的循环时間和射击速度与此大致相同。

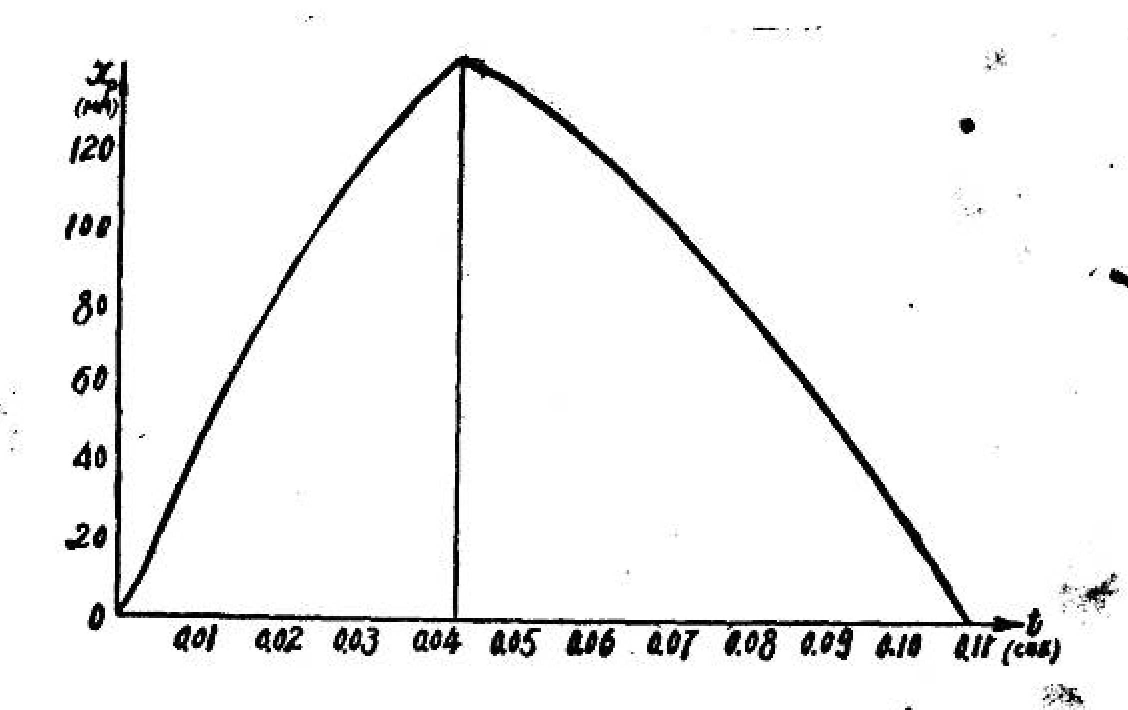


圖75　$x_p = f(t)$曲綫。

圖75是計算曲綫$x_p = f(t)$。該曲綫与对德普式机槍自动机工作作試驗研究时所得出的測速圖完全一致（导气孔的直徑为$d_p = 3$公厘时，即与計算中所取的直徑相同）。

2. 武器緩冲时自动机的計算

假設，自动机工作条件如前，同一机槍在后座作用下沿平行于槍膛軸綫的方向移动并压縮緩冲器彈簧。在此种情况下計算自动机时，不仅应該考虑到槍机与槍机框的运动，而且还应該考虑到整个武器同槍架某些部件的运动。

計算是在下列的机槍緩冲条件下进行的。發射前，整个机槍向前运动受槍架带有緩冲垫之部件的限制，因为緩冲器彈簧开始运動时有一定的預压量，同时保証了整个机槍当槍机框(带槍机)在前方位置撞击时的位移很小。

我們假設，緩冲器的彈簧有下列特征数：

$\eta=580$ кг/м——彈簧剛度；

$\Pi_0=22.5$кг——預压力（圖76)。

带槍座定向部件的并考虑到緩冲器彈簧質量所研究的整个机槍的質量：

$M_0=1.406$кг·сек²/м。

考慮到整个机槍的緩冲来計算自动机时，其运动段的划分与机槍剛性連接的情况相同。

我們仅补充一自动机工作开始前武器之运动段，并認为开鎖时，

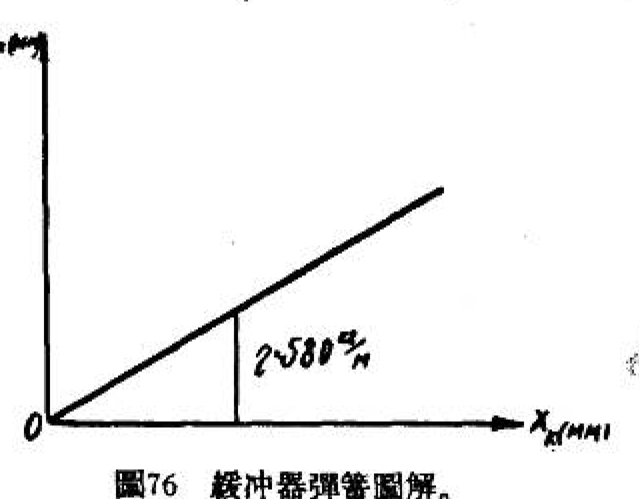


圖76　緩冲器彈簧圖解。

槍机即与槍机框相連接(当槍机框相对机匣移动 $\xi=16$ мм 时)。这一假設对計算沒有很大的影响而且使我們可以不去研究从槍机开鎖瞬間至槍机与槍机框联接瞬間的运动期。

自动机工作开始前武器的运动

考慮到，在火藥气体压力作用期，膛底的火藥气体压力比緩冲器彈簧弹力大得多，而且火藥气体压力作用时間很短，在这一

运动段上可以利用对武器自由后座諸元作某些修正，借以考虑緩冲器弹簧內力。

德普式机槍机匣运动特征数已作为例子● 計算过。例中解得下列各值：

主　要　瞬　間	t сек	$V_к$ м/сек	$x_к$ мм
弹丸通过导气孔	0.0012	0.62	0.3
弹丸飞出槍口	0.00145	0.67	0.5
后效期	0.0044	0.4	2

确定这些运动特征数时沒有考虑到弹簧的阻力。为了考虑弹簧的阻力，我們求出与时間 $t=0.0044$ сек 相应的速度值和位移值的修正量。

机槍机匣运动的阻力为

$$F=П_к-П_р+R,$$

式中

$П_к$——緩冲器弹簧內力；

$П_р$——复进簧內力；

R——定向滑板上的摩擦力。

我們取火藥气体压力作用时的摩擦力 $R=5$ кг。

力 $П_р$ 在火藥气体压力作用期变化很小。因此，我們取它等于开始值 $П_р=4$ кг。

我們取力 $П_к$ 在机匣运动段 $x_к=2$ 公厘上的平均值。根据圖76得出 $П_к=23$ кг。

因而，$F=23-4+5=24$ кг。

我們根据下一公式求出速度和位移的修正量

$$\Delta V_к=\frac{Ft}{M_0-M_р},\qquad \Delta x_к=\Delta V_к\frac{t}{2},$$

● 参看本書上册原文第116頁。

式中 $t=0.0044сек$， $M_0-M_p=1.325кг.сек^2/м$。

将数值代入这些公式中，則得

$$\Delta V_к \approx 0.08м/сек, \quad \Delta x_к \approx 0.2мм。$$

因而，在 $t=0.0044$秒的瞬間，得

$$\overline{V}_к = V_к - \Delta V_к = 0.32м/сек,$$

$$x'_к = x_к - \Delta x_к \approx 1.8мм。$$

第1和第2段 槍机框在与槍机連接前的运动

($\xi = 0-16мм$)

为了确定在槍机連接瞬間之前槍机框的速度和位移，要知道在此期間槍机框的运动时間。

根据概略的預先計算，我們取与槍机連接。前槍机框的运动时間 $t=0.0032$秒(自彈丸通过导气孔的瞬間起)。

我們根据下列公式求出在与槍机連接之前槍机框的速度和位移:

$$V_p = \frac{s_п i_0}{M_p} k_V + V_{к1},$$

$$x_p = \frac{s_п i_0 b}{M_p} k_x + V_{к1} t + x_{к1},$$

式中 $V_{к1}$和$x_{к1}$——彈丸通过导气孔的瞬間整个武器的速度和位移($V_{к1}=0.62м/сек$; $x_{к1}=0.3мм$)。

这些公式中所含的各常量前曾列出:

$s_п$ $см^2$	M_p $кг{\cdot}сек/м$	i_0 $кг{\cdot}сек/см^2$	b $сек$	α
1.13	0.081	0.84	0.00094	2

k_V 和 k_x 的值根据圖解中的 α 值和 $\frac{t}{b}$ 之比而确定之

$$k_V = 0.6, \quad k_x = 1.2。$$

将数值代入 V_p 和 x_p 的公式中，則得

$$V_p = 7.6м/сек, \quad x_p = 18.5мм。$$

为了考虑复进簧的阻力，把修正量加到所求出的槍机框速度

和位移量中，则得:

$$V_р=7.2\,м/сек,\quad x_р=18\,мм。$$

同时，槍机框的相对位移（对机匣来講）

$$\xi=x_р-x_к\approx16\,мм。$$

槍机框的这一位移与槍机和槍机框的連接相适应。我們指出，如果 $\xi\neq16\,мм$，就須要改变一下以前所取的运动时間，借以达到所要求的結果。

就我們所研究的情况来講(斜撞击)，当槍机框与閉鎖卡鉄撞击时前者的速度减少值前已确定●。

撞击閉鎖卡鉄后槍机框的速度和机匣的速度:

$$V_р=7.05\,м/сек,\quad V_к=0.329\,м/сек。$$

假設，槍机框与槍机的連接是由于中心撞击的結果而产生的，我們来求槍机与槍机框連接后的速度。

此时

$$V'_р=\frac{M_рV_р+M_эV_э}{M_э+M_р},$$

式中 $M_р$ 和 $M_э$——槍机框和槍机的質量。

$$(M_р=0.081\,кг.сек^2/м;\quad M_э=0.036\,кг.сек^2/м);$$

$V_р$和$V_э$——撞击前，槍机框的速度和槍机的速度●。

$$(V_р=7.05\,м/сек;\quad V_э=0.329\,м/сек)。$$

将数值代入后一公式，则得

$$V'_р=5\,м/сек。$$

这样一来，槍机与槍机框連接之后，得出下述运动特征数:

其中 ξ——槍机框的相对位移（对机匣而言）。

t сек	$V_к$ м/сек	$x_к$ мм	ξ мм	$x_р$ мм	$V_р$ м/сек
0.0044	0.329	2	16	18	5

● 参看本書上册原文第 385 頁。

● 此速度等于槍机与槍机框連接瞬間的机槍机匣速度。

根据上述所采用的假定可以不考虑槍机与槍机框联接后的火藥气体压力，而将槍机框連同槍机以及机槍机匣的繼續运动看成是在彈簧作用下的运动。

計算槍机框运动特征数和机槍机匣的运动特征数时，各运动段的划分与前述的武器剛性連接的情况相同。我們采用近似的圖解解析計算法。

第3段 槍机框向后方位置的运动（$\xi=16\sim143$мм）

为了計算此段上的运动，我們已知下列的彈簧特征数和質量特征数：

$$\eta_к=580кг/м;\ f_к=41мм;\ M_к=1.29кг.сек^2/м;$$

$$\eta_р=50кг/м;\ f_р=94мм;\ M_р=0.117кг.сек^2/м,$$

式中 $\eta_к$和$\eta_р$——緩冲器彈簧剛度系数和复进簧彈簧剛度系数；

$f_к$和$f_р$——緩冲器彈簧和复进簧的預压量（包括摩擦力在內）；

$M_к$和$M_р$——机槍机匣質量和槍机框連同槍机的質量。

我們利用这些数据，根据近似公式确定基本参量：

$$P_к=\sqrt{\frac{\eta_к}{M_к}}=21.2\,1/сек;\quad P_р=\sqrt{\frac{\eta_р}{M_р}}=20.6\,1/сек;$$

$$n=\frac{1}{\frac{\eta_к}{\eta_р}-\frac{M_к}{M_р}}=1.67;$$

$$z_0=f_р=0.094\ м;\quad \dot{z}_0=V_р=5\ м/сек;$$

$$y_0-nz_0=-0.116\ м;\quad \dot{y}_0-n\dot{z}_0=V_к-nV_р=-8\ м/сек。$$

机槍机匣和槍机框运动特征数的圖解法示于圖77中。

在圖解上，$y-nz$ 和nz 的比例尺是$\alpha_x=5$。$\Delta\alpha=0.262$或15°。取时間比例尺为$\alpha_t=0.0005сек/мм$。

用此比例尺α_t和角$\Delta\alpha$时，在$y-nz=f(t)$和$nz=f(t)$的圖解上的間距为：

$$h_1=\frac{\Delta\alpha}{p_к\alpha_t}=24.7мм,\quad h_2=\frac{\Delta\alpha}{p_р\alpha_t}=25.4мм。$$

$\dot{y}-n\dot{z}$ 和 $n\dot{z}$ 的值按比例尺分别是

$$\alpha_{V1}=P_{\kappa}\alpha_x=0.106\ м/сек.мм,$$

$$\alpha_{V2}=P_p\alpha_x=0.103\ м/сек.мм。$$

在圖的右边繪有曲綫 $y=f(t)$，它是由在相同的时間瞬間 $y-nz=f(t)$ 和 $nz=f(t)$ 圖解的縱座标相加而得。曲綫 $nz=f(t)$ 也就是比例尺为 $\frac{\alpha_x}{n}=3$ 的曲綫 $z=f(t)$。

圖解 $x_p=f(t)$ 和 $x_\kappa=f(t)$ 是利用移动座标原点的方法而得出的。这些圖解的座标原点是 O_5 和 O_6。

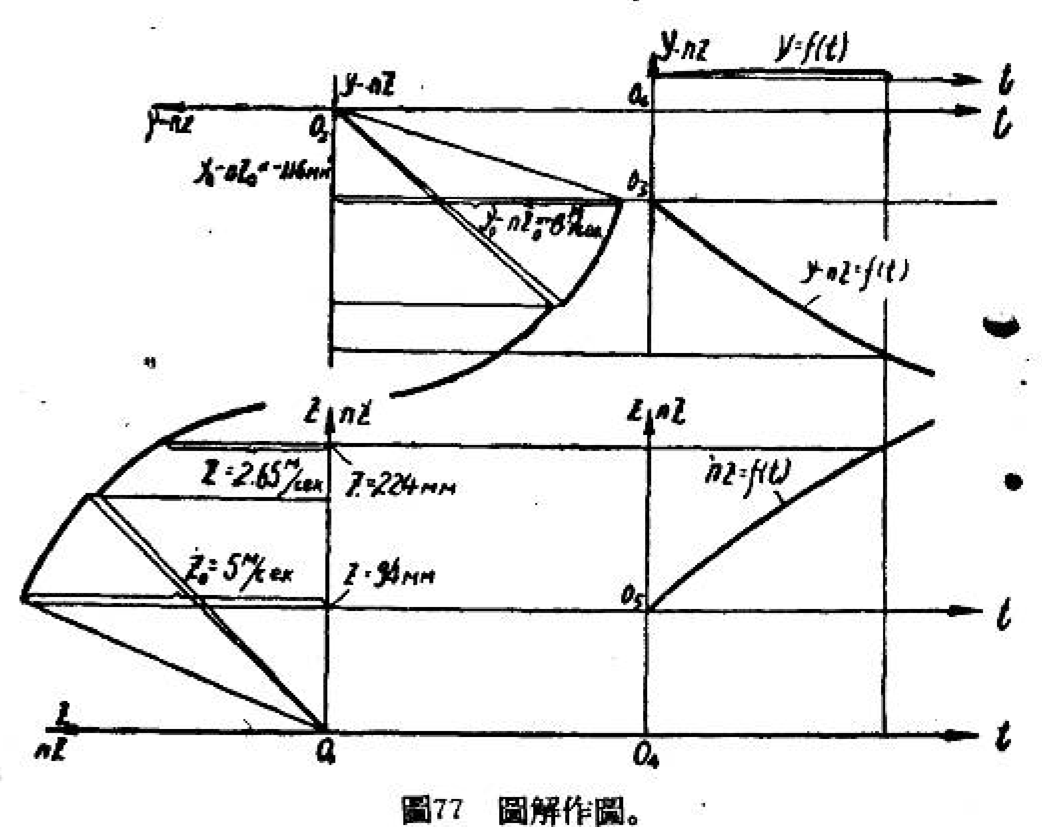


圖77　圖解作圖。

在圖解上(圖77)，当 $\xi=100$ мм 时重新計算在此瞬間因抽壳而改变的速度縱座标 V_p。計算在抽壳时槍机框速度改变量与武器剛性連接的情况相同。对圖解 $y=f(t)$ 的縱座标不作重新計算，因为抽壳时的撞击实际上对机槍机匣速度沒有显著的影响。

我們利用圖77上的圖解求出槍机框到达后方位置时之諸元 $V_p=2.65м/сек$；$V_\kappa=0$；$x_\kappa=6.5мм$；$t=0.0344\ сек$。

为了确定在后方位置撞击后槍机框和机槍机匣的速度，利用下列公式：

$$V'_p = V_p - \frac{(V_p - V_к)(1+b)}{1+\frac{M_p}{M_к}},$$

$$V'_к = V_к + \frac{(V_p - V_к)(1+b)}{1+\frac{M_к}{M_p}},$$

式中　V'_p和$V'_к$——撞击后槍机框和机槍机匣的速度；

V_p和$V_к$——撞击前槍机框和机槍机匣的速度（$V_p=2.65$ *м/сек*，$V_к=0$）；

b——恢复系数（$b=0.32$）；

M_p和$M_к$——槍机框連同槍机質量和机槍机匣質量（$M_p=0.117$ *кг. сек²/м*，$M_к=1.29$ *кг. сек²/м*。

将数值代入公式中，則得

$$V'_p = -0.57 м/сек,\quad V'_к = 0.293 м/сек。$$

第4段　槍机框在供彈开始前的运动（$\xi=143\sim105$ *мм*）

为了計算此段上的运动諸元，已給出下列特征数：

$\eta_к=580$ *кг/м*；$f_к=45.5$ *мм*；$M_к=1.29$ *кг. сек²/м*；

$\eta_p=50$ *кг/м*；$f_p=184$ *мм*；$M_p=0.1164$ *кг. сек²/м*。

我們利用这些数据，按照前一运动段的求法确定出基本参量（参看下表）。

$p_к$ (1/*сек*)	p_p (1/*сек*)	n	z_0 *м*	$\dot z$ *м/сек*
21.2	20.6	1.67	0.184	—0.57
y_0-nz_0 *м*	$\dot y_0-n\dot z_0$ *м/сек*	α_x *м/мм*	α_t *сек/мм*	h_1 *мм*
—0.285	1.32	0.005	0.0005	24.7
h_2 *мм*	α_{V1} *м/сек·мм*	α_{V2} *м/сек·мм*		
25.4	0.106	0.103		

通过作圖(圖78)，可以求出供彈开始前槍机框和机槍机匣的速度

$$V_{p}=4\ м/сек,\quad V_{к}=0.1\ м/сек。$$

圖78所示的是确定由彈盘抽彈时和在最后一运动段上，即槍机框在第5和第6段上运动时槍机框运动特征数和机槍机匣运动特征数所必需的作圖。

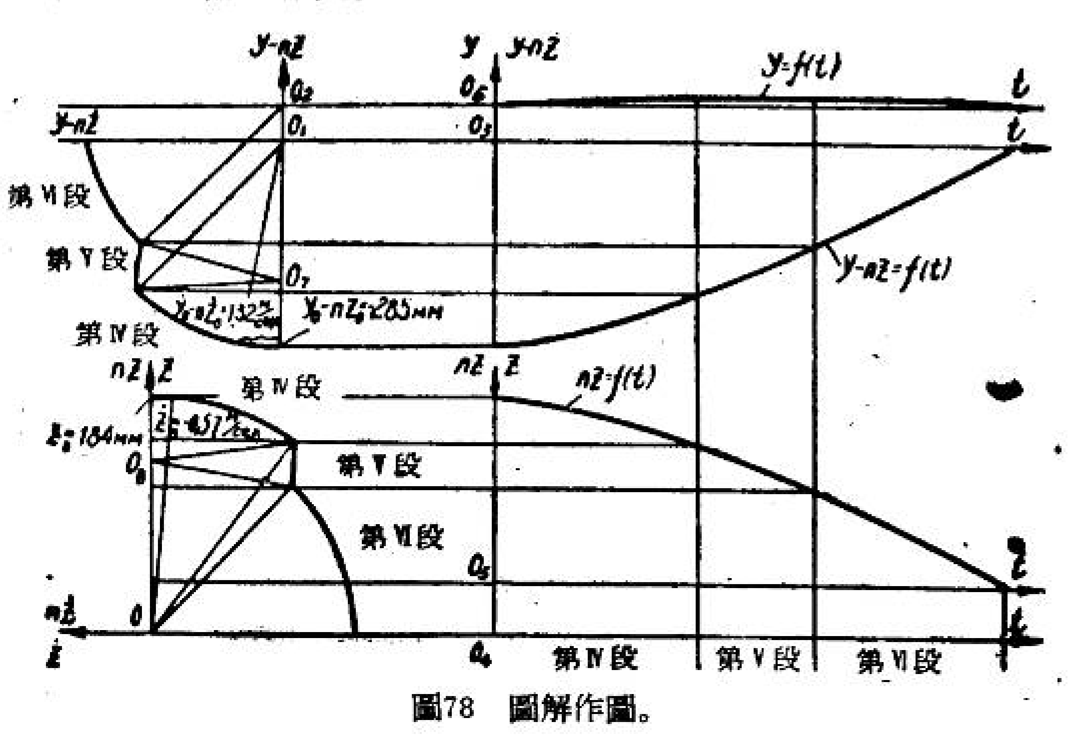


圖78　圖解作圖。

第5和第6段（$\xi=105\sim0$）

此段上的全部作圖与以前各段的作圖完全相似，然而这里考虑到起始条件之改变(各种不同的起始座标值)。

所作的圖解解析研究結果繪于圖79中，圖中給出$x_{p}=f(t)$和$x_{к}=f(t)$的曲綫。这两条曲綫表示槍机框和机槍机匣絕对座标随时間的变化关系。

根据这些圖解求出自动机工作循环时間$t_{ц}=0.106сек$和預期的射击速度$n=\frac{60}{t_{ц}}=565\ выстр/мин$(發/分)。

为了比較一下德普式机槍在緩冲情况下和剛性連接情况下自动机的工作，在圖80上繪有說明槍机框絕对座标在上述两种条件下随时間变化的計算曲綫$x_{p}=f(t)$。

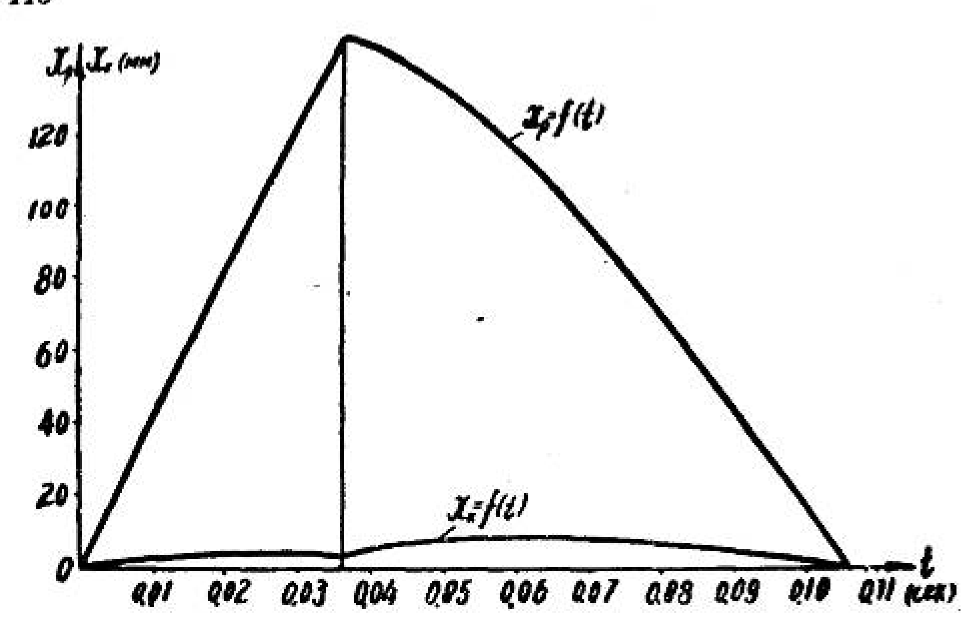


圖79　$x_p = f(t)$和$x_k = f(t)$計算圖解。

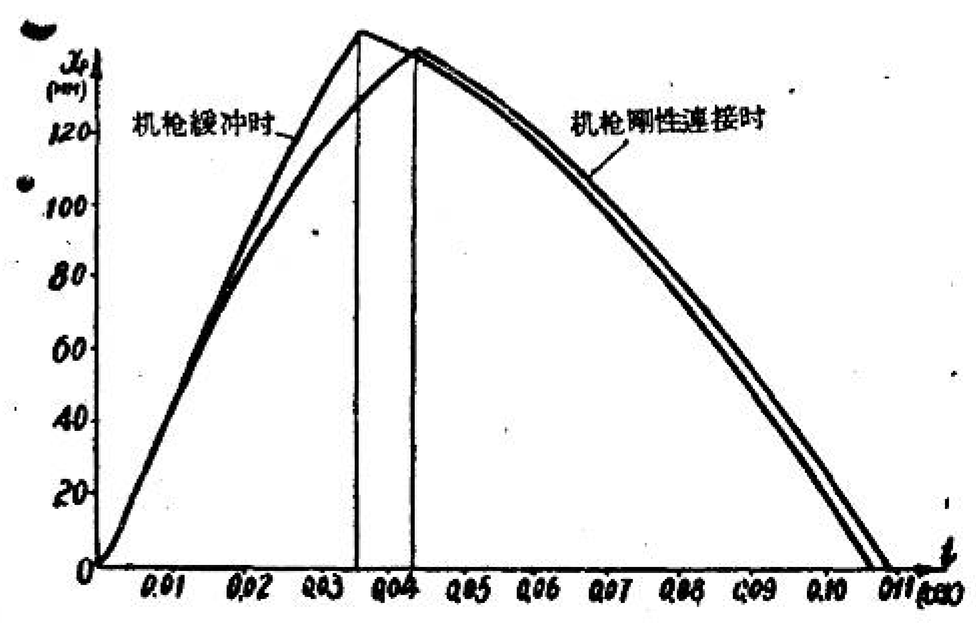


圖80　武器剛性連接和緩冲时$x_p = f(t)$的圖解。

§2　槍管后座式自动机的計算（MG-42）

MG-42机槍（圖81）的自動机是以槍管短后座原理工作的。

槍机的閉鎖是利用閉鎖卡鉄（滑輪）实現的。击發机构是借复进簧而工作的。發射机构只能进行連發。

机槍的供彈是利用容量为50發的金屬彈鏈而进行的。彈鏈可

利用槍彈彼此連接起来。

彈鏈供彈机构是滑板式的。供彈时，彈丸由彈鏈直接送入彈膛。

MG-42 机槍的各机构工作特点是：槍机加速机构与槍机的开鎖同时开始工作并且供彈在槍机两次行程（向后和向前）内完成。

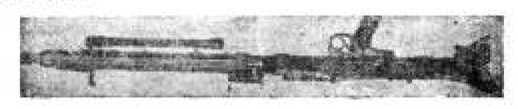


圖81 MG-42 机槍縱剖面圖。

計算 MG-42 机槍的自动机时应該計算三个主要机构的工作：槍机体加速机构，机头加速机构和彈鏈供彈机构。

槍机体加速机构工作时槍管是基本构件，而槍机体是工作构件。

机头加速机构工作时槍管是基本构件，而机头是工作构件。

机槍的部件和各部分	重量 Q 2	質量 M $2\cdot сек^2/м$
槍管（連同槍尾和套筒）	1825	186
机体（連同推杆，楔体和击針）	315	32.1
机头（連同退売挺）	212	21.6
槍机复进簧	81	8.2
槍管复进簧（連同导杆）	150	15.3
彈鏈供彈机构的大撥彈滑板和小撥彈滑板	40	4.1
机槍（不帶脚架）	10600	1080
机槍定向滑板	1200	122
緩冲器彈簧	180	18.3
彈売	11	1.1
槍彈	26	2.7

弹鏈供弹机构工作时槍机是基本构件，而受弹器（装有槍弹）的撥弹滑板是工作构件。

上頁表中列出自动机主要部件的重量和質量。

下面取这些部件相对于机槍机匣的座标作为槍管和槍机的座标。座标原点要选擇得使槍管和槍机运动开始时它們的座标等于零。这样选擇座标原点时槍机和槍管的座标代表这些部件的絕对位移。

1.傳速比的确定

槍机体加速机构

MG-42机槍槍机体（圖82）加速的方法如下：在后座作用下机头与槍管一道向后运动。此时由于机匣定形板的作用閉鎖滑輪

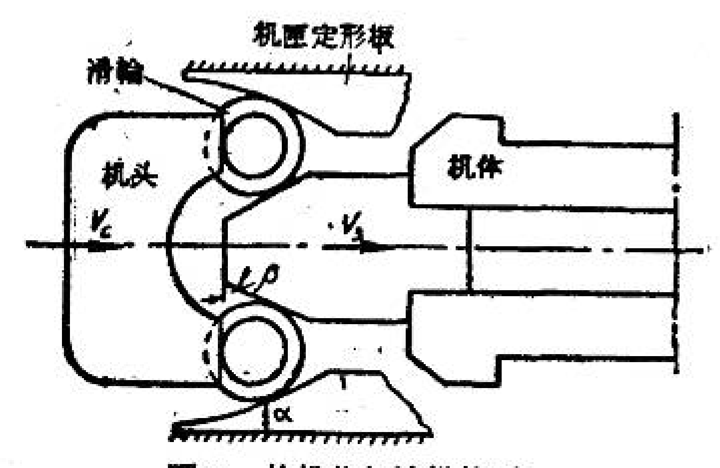


圖82　槍机体加速机构圖。

逐漸拼攏并由滑輪的閉鎖突緣的作用而向后推动槍机体的楔鉄，从而加速了槍机体的运动。

利用加速机构圖和極速度圖（圖83），就可以确定求傳速比的

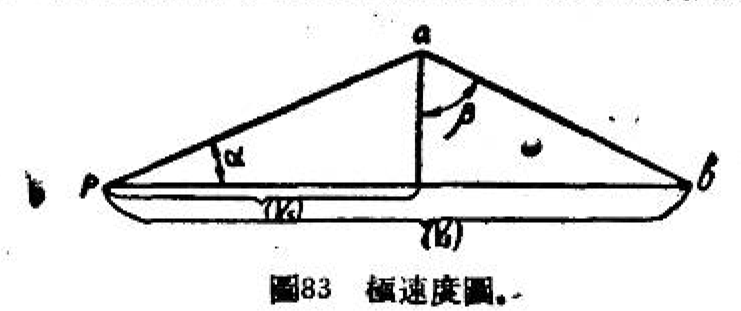


圖83　極速度圖。

公式，也就是求槍机体速度与槍管速度之比的公式：

$$k_3=\frac{V_3}{V_c}=\frac{V_c+V_c\,\mathrm{tg}\,\alpha\,\mathrm{tg}\,\beta}{V_c}=1+\mathrm{tg}\,\alpha\cdot\mathrm{tg}\,\beta \qquad (1)$$

繪制極速度圖沒轉动速度向量。

在 *MG*-42 机槍中机槍机匣的定形板的工作断面是半徑为 R 的圓弧(圖84)。

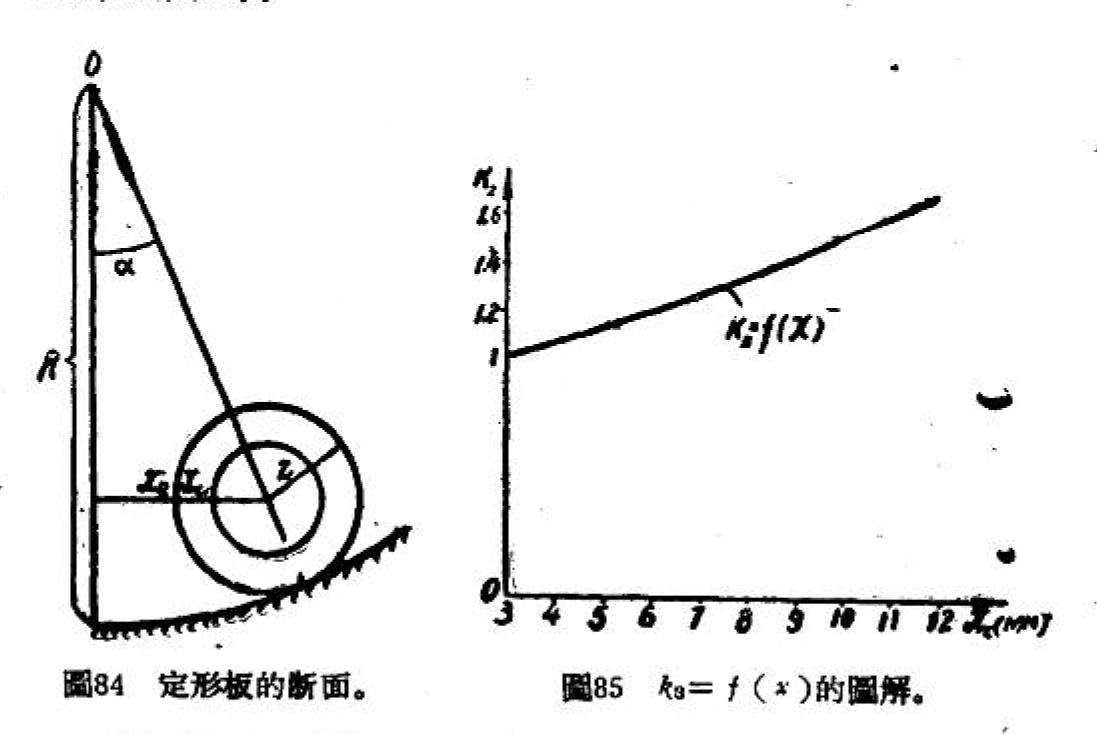


圖84　定形板的断面。　　　圖85　$k_3=f(x)$的圖解。

利用圖84，可以写出如下的公式：

$$\mathrm{tg}\,\alpha=\frac{x_c-x_{c_1}}{\sqrt{(R-r)^2-(x_c-x_{c_1})^2}}, \qquad (2)$$

式中

x_c——槍管座标；

x_{c_1}——槍机体加速机构开始工作时槍管的座标。

利用公式(1)和(2)，可以建立下一关系式

$$k_3=f(x_c)。$$

将数值（$R=25$ мм，$r=7.5$ мм，$x_{c_1}=3$ мм；$\beta=50°$）代入公式(1)和(2)中，則得下表（見下頁）。

圖 85 所示的是根据此表而繪制的$k_3=f(x_c)$圖解。

x_c мм	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$k_э$	1	1.06	1.14	1.21	1.28	1.35	1.43	1.52	1.51	1.71
tg α	0	0.057	0.115	0.173	0.235	0.298	0.365	0.438	0.516	0.60

机头加速机构

机头在槍机体加速后开始加速，卽当閉鎖滑輪与机头缺口的定向面接触时加速其运动。

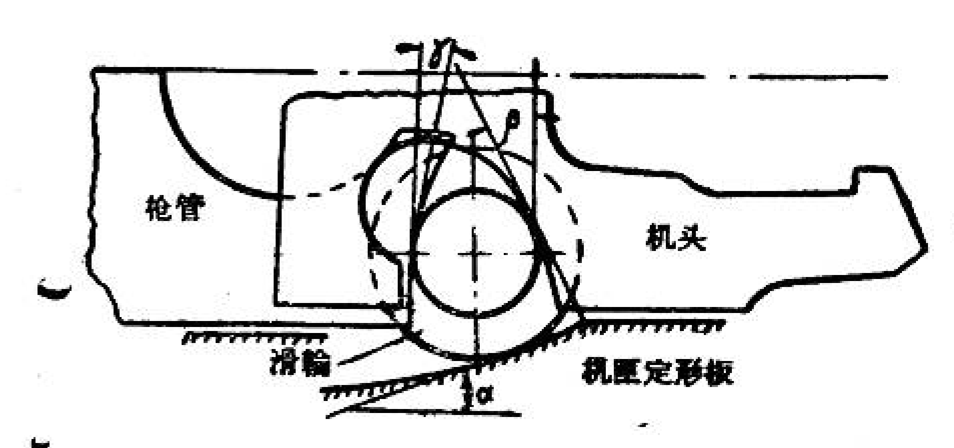


圖86　机头加速机构原理圖。

該机构的工作原理圖示于圖86，由圖中看到，当机头加速机构开始工作时閉鎖滑輪的突緣沿机匣的定形板的定形槽滑动，而滑輪沿槍管和机头的定形面滑动。

如果用理論断面来代替槍管、机头和机匣板工作面（将它們移至滑輪中心），則所研究的机构略圖可以如圖 87 所示的那样来表示。

傳速比，卽机头速度与槍管速度之比，在該种情况下利用对各机构构件不同位置作数个極速度圖来求得是方便的。

圖88所示的是所研究的机构的極速度圖的作圖原理，圖中已将速度向量沿順时針的方向轉90°。

圖 89 所示的是机构构件各不同位置的極速度圖的作圖。

根据速度圖作圖而求得的傳速比，以圖 90 上$k_a = f(x_c)$的圖解表示之。

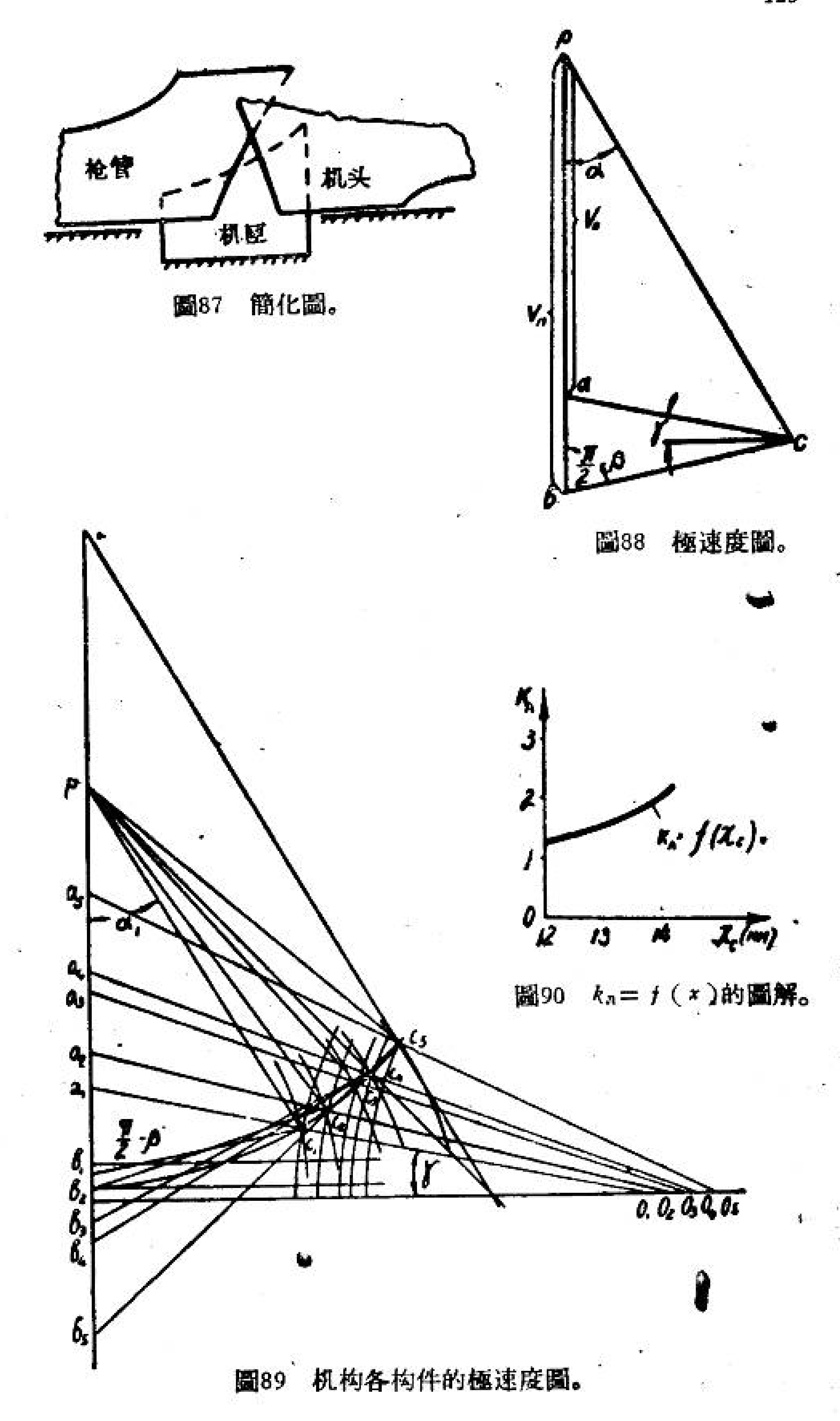


圖87 簡化圖。

圖88 極速度圖。

圖89 机构各构件的極速度圖。

圖90 $k_n = f(x)$的圖解。

彈鏈供彈机构

MG-42机槍彈鏈供彈机构(圖91)是凸輪机构和杠杆連杆机构的結合体。該机构的工作如下。

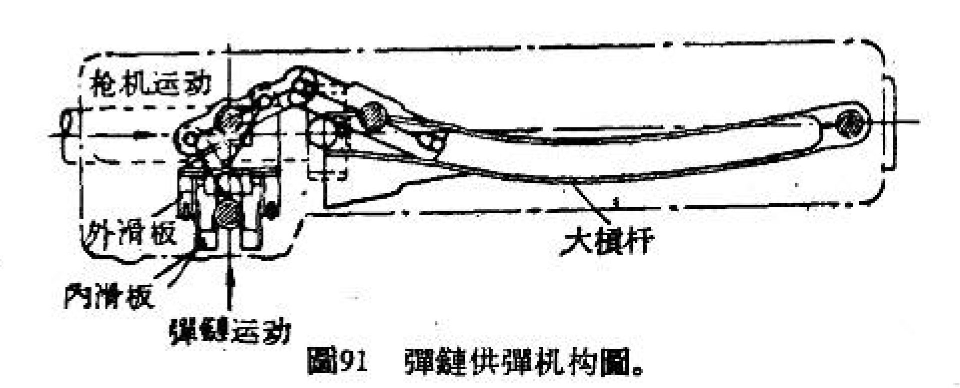


圖91 彈鏈供彈机构圖。

当槍机运动时其滑輪位于大杠杆的曲綫槽內并使此杠杆繞軸轉动。大杠杆借杠杆系統与两个受彈器撥彈滑板連接并使它們运动。当槍机向后移動时，外撥彈滑板供彈，而內撥彈滑板空轉。当槍机向前移动时，內撥彈滑板供彈，而外撥彈滑板空轉。

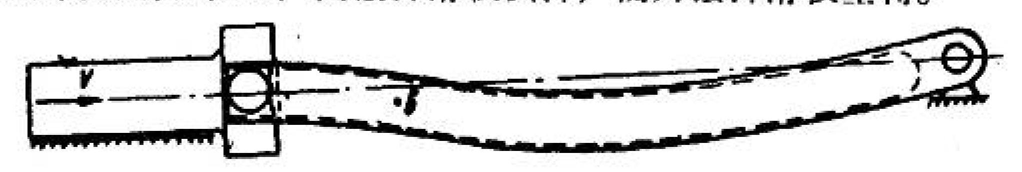


圖92 凸輪机构。

彈鏈供彈机构工作时彈鏈上的下一發槍彈首先被內撥彈滑板的撥彈齿抓住，然后被外撥彈滑板的彈齿抓住。

考慮到撥彈滑板的复杂运动，在計算傳速比时将取某些中間点 g 和 e 的速度(圖93)。

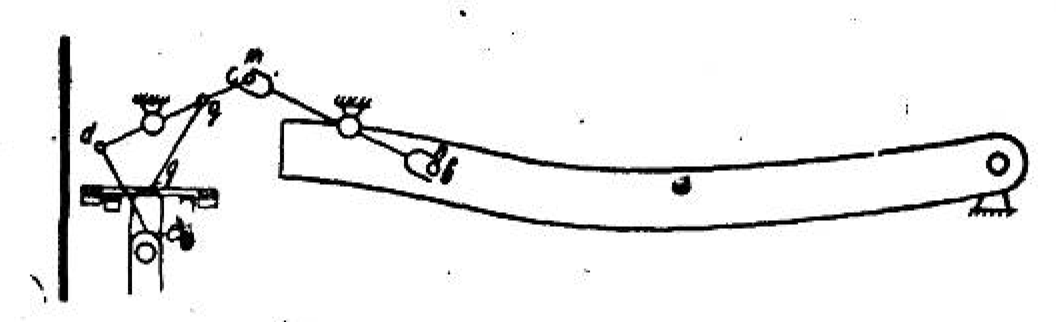


圖93 杠杆連杆机构。

为了求出由撥彈滑板上的点 g 和 e 到槍机的傳速比，假設将 MG-42机槍彈鏈供彈机构分为两个机构：凸輪机构(圖92)和杠杆連杆机构(圖 93)。机构(圖 92)屬于第二类第三型的凸輪机构●。該机构的凸輪理論断面是由两个圓弧构成的(圖94)。

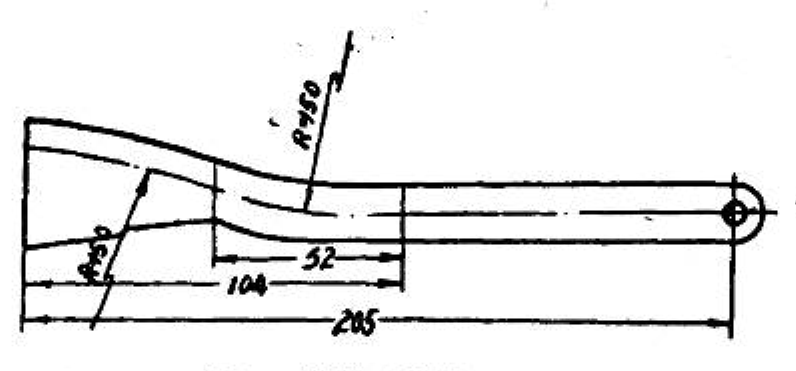


圖94　凸輪理論断面。

該机构的傳速比，即計算机构在各不同位置时点 b 速度与槍机速度之比的計算示于圖 95 和 96 中。

杠杆連杆机构的傳速比(圖91)，亦即点 g 和点 e 的速度与点 b 的速度之比是借助对点 b 在各不同位置时作若干極速度圖的方法來确定的。

圖 97 和 98 所示的是槍机向后运动（至 $k_{\text{п}}$ 的最大值）时該机构的两个位置的極速度圖（此时撥彈滑板內齿工作）和槍机向前运动时（至 $k_{\text{п}}$ 的最大值）机构的三个位置的極速度圖（此时撥彈滑板外齿工作)。

在極速度圖上向量：pb；pn；pm；pq；pd；pc；pg；pe 表示机构各点：b，n，m，q，d，c，g，e 的絕对速度（極速度圖上的向量沿逆时針方向轉动90°)。

点 g 和 e 与点 b 的傳速比以下一比例确定之：

$$k''_{\text{п}} = \frac{\overline{pg}}{pb}$$

$$k''_{\text{п}} = \frac{\overline{pe}}{pb},$$

● 參看本書上册原文第229頁。

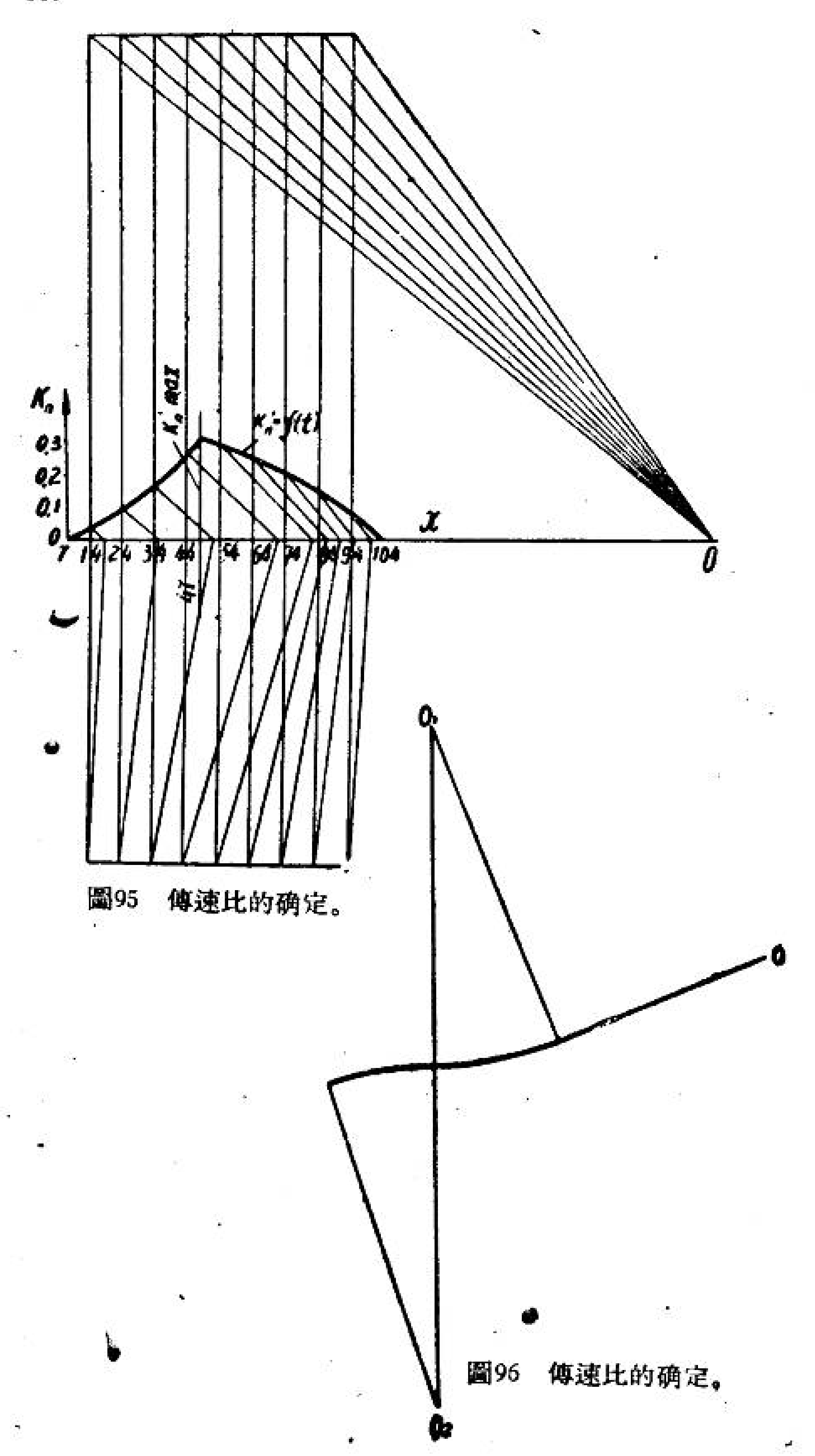


圖95 傳速比的确定。

圖96 傳速比的确定。

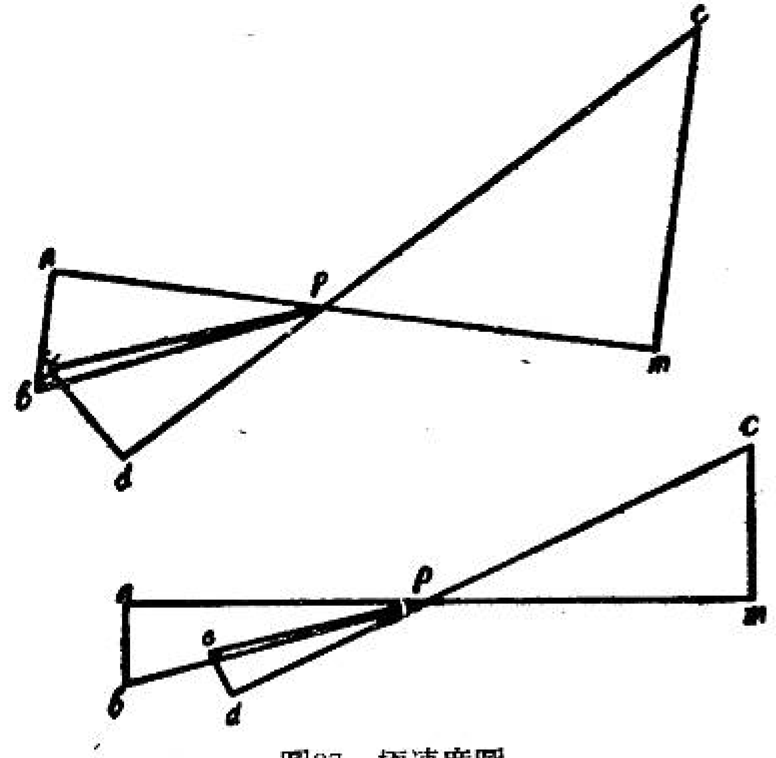


圖97　極速度圖。

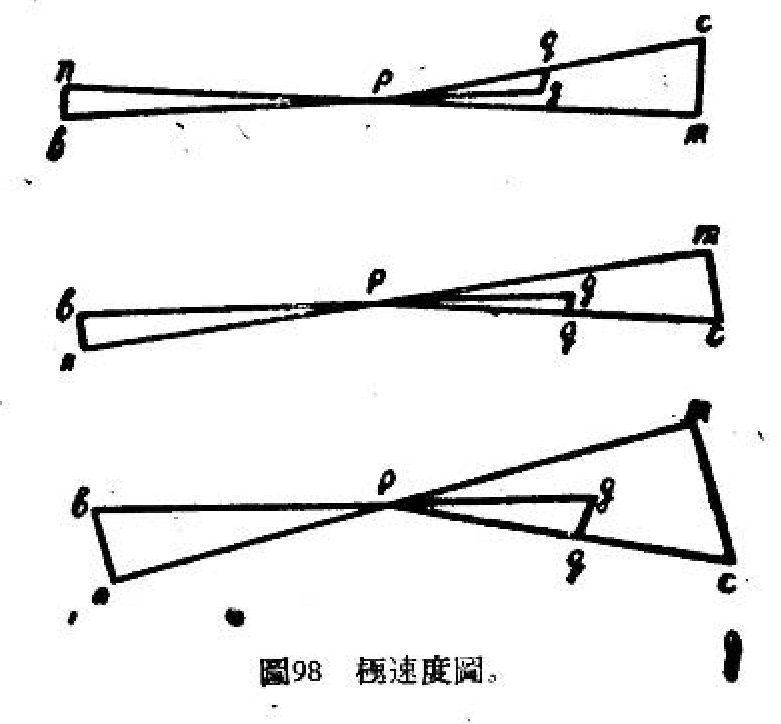


圖98　極速度圖。

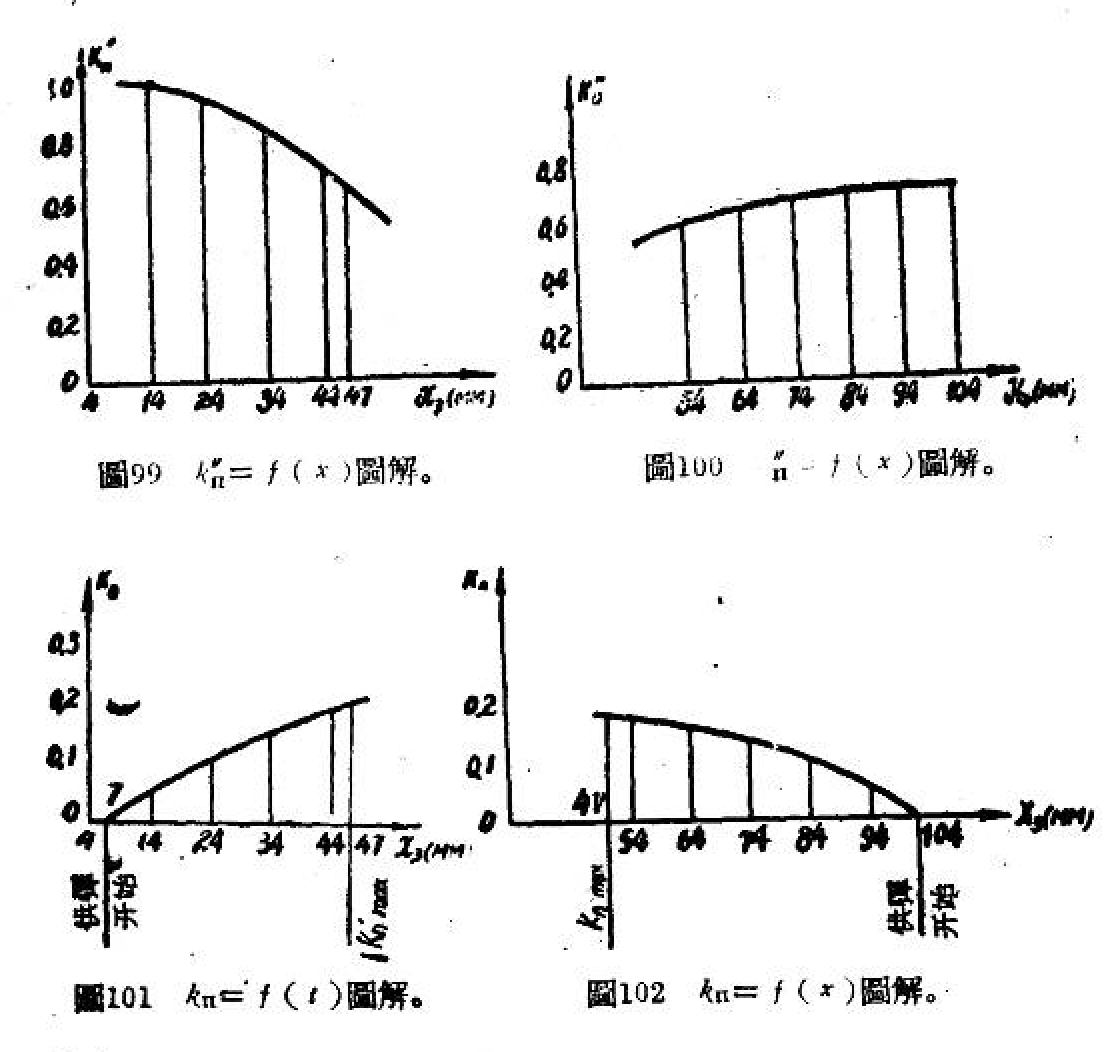


圖99　$k''_п = f(x)$圖解。

圖100　$k''_п = f(x)$圖解。

圖101　$k_п = f(t)$圖解。

圖102　$k_п = f(x)$圖解。

式中

$\overline{pg}$和$\overline{pe}$——表示点 g 和 e 絕对速度的向量在彈鏈运动方向上的投影；

pb——表示点 b 絕对速度的向量。

圖99和100所示的是根据对槍机在各不同位置时的許多極速度圖作圖而求出的圖解 $k''_п = f(x_з)$。圖解(圖99) $k''_п = f(x_з)$与彈鏈供彈机构撥彈滑板加速期槍机向后的运动相对应（至 $k_п$ 最大值），而圖解 $k''_п = f(x_з)$(圖100)与彈鏈供彈机构撥彈滑板加速期槍机向前的运动相对应(至$k_п$最大值)。

圖101和102所示的是表示槍机向后和向前运动时彈鏈供彈机构总傳速比 $k_п = k'_п k''_п$改变量的圖解。

2.各机构效率的計算

槍机体加速机构

計算槍机体加速机构工作时产生的摩擦力具有某些特点，这些特点是由于該机构工作时槍机进行开鎖而确定的。因此，在机构各构件上不仅作用着由于加速机构工作而引起的約束反作用力，而且还作用着由于火藥气体压力作用而引起的約束反作用力。

圖 103 是槍机体加速机构原理圖并附有以相应的反作用力代替約束之后作用于該机构的各个构件上的力和約束反作用力的作用圖。

在圖 103 上引用下列符号：

R'_A——由机头方面作用于約束上的损耗力；

R'_B——由槍机体方面作用于約束上的损耗力；

W——由机头方面作用于一个滑輪上的火藥气体压力；

Q——一个滑輪作用于槍管突出部上的力；

R 和 N——約束反作用力；

f——摩擦系数。

假設，机构工作时滑輪不轉动，滑輪的質量忽略不計并且把机头質量加于槍管質量中，便可以写出机构各构件的平衡方程式如下：

对于槍管和机头来講，

$$\Sigma X = \frac{1}{2}R'_A - W + Q = 0。\qquad (3)$$

对于槍机体来講，

$$\Sigma X = R(\cos\beta - f\sin\beta) - \frac{1}{2}R'_B = 0。\qquad (4)$$

对于一个滑輪来講，

$$\Sigma X = W - Q - N(\sin\alpha + f\cos\alpha) - R(\cos\beta - f\sin\beta) = 0,\qquad (5)$$

$$\Sigma Y = N(\cos\alpha - f\sin\alpha) - fW - fQ - R(\sin\beta - f\cos\beta) = 0。\quad (6)$$

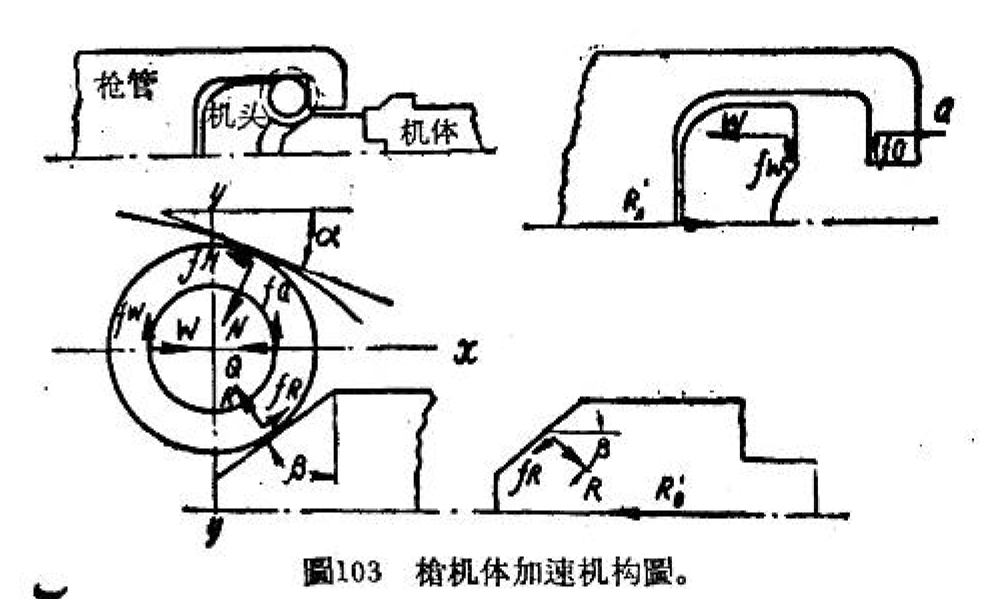


圖103 槍机体加速机构圖。

这四个方程式使我們有可能消去約束反作用力R_1，N和力Q，然后得出$\frac{R_B'}{R_A'}$之比。

从方程式(3)，(4)，(5)，(6)求出

$$\frac{1}{2}R_A' - N(\sin\alpha + f\cos\alpha) - R(\cos\beta - f\sin\beta) = 0，\quad (7)$$

$$N(1+f^2)\cos\alpha - R(1+f^2)\sin\beta - 2fW = 0。\quad (8)$$

方程式(7)和(8)使我們有可能消去反作用力N

$$\frac{1}{2}R_A' = \left[\frac{\sin\beta}{\cos\alpha}(\sin\alpha + f\cos\alpha) + \cos\beta - f\sin\beta\right]R + 2fW\frac{\sin\alpha + f\cos\alpha}{(1+f^2)\cos\alpha}。\quad (9)$$

对于所討論的MG-42机槍的机构来講，在允許的精度內可以取$1+f^2\approx 1$。

采用此假設时，公式(9)的形式如下

$$\frac{1}{2}R_A' = R[(\mathrm{tg}\,\alpha + f)\sin\beta + \cos\beta - f\sin\beta] + 2fW(\mathrm{tg}\,\alpha + f)。\quad (10)$$

将$2fW(\mathrm{tg}\,\alpha + f)$一項移于左边并引入符号$R_A'' = R_A' - 4fW(\mathrm{tg}\,\alpha + f)$，則得：

$$\frac{1}{2}R_A'' = R(\text{tg}\,\alpha\sin\beta + \cos\beta)。\qquad (11)$$

如果現在对R_B'解方程式(4)并以方程式(11)除之，则得

$$\frac{R_B'}{R_A''} = \frac{1 - f\,\text{tg}\,\beta}{1 + \text{tg}\,\alpha\,\text{tg}\,\beta}。\qquad (12)$$

因而，求效率的公式将有如下的形式

$$\eta_c = \frac{R_B'}{R_A''}k = \frac{1 - f\,\text{tg}\,\beta}{1 + \text{tg}\,\alpha\,\text{tg}\,\beta}k = \frac{1 - f\,\text{tg}\,\beta}{1 + \text{tg}\,\alpha\,\text{tg}\,\beta}(1 + \text{tg}\,\alpha\,\text{tg}\,\beta)\qquad (13)$$

$$\eta_c = 1 - f\,\text{tg}\,\beta。$$

求效率的这一公式只考慮到由于槍机体加速机构工作而产生的摩擦力。由于力W的作用而产生的摩擦力考慮在力R_A''所含的項$4fW(\text{tg}\,\alpha + f)$中，

$$R_A'' = R_A' - 4fW(\text{tg}\,\alpha + f)。$$

将彈壳抽壳力和机头質量（与槍管質量相比較时）忽略不計，对于力W来講，可以写出下列公式:

$$W = \frac{1}{2}ps,$$

式中　s——彈壳底的断面面积;

p——槍膛底上的火藥气体压力。

因而，当滑輪在机头上的火藥气体压力作用下拼攏时所产生的摩擦力可以單独用下面的阻力来加以考慮:

$$2fps(\text{tg}\,\alpha + f)。\qquad (14)$$

将数值代入公式(13)中，则得效率值

$$\eta_c = 1 - f\,\text{tg}\,\beta = 0.88。$$

机头加速机构

机头加速机构在槍机开鎖后工作。該机构开始工作时在机头和槍管上仍作用着膛內火藥气体压力。此外，还有抽壳时产生的力。这两个力以相反的方向作用于槍管和机头上。試驗証明，它們对槍管和机头的运动的影响是很小的。这些力的改变性質和大小难以准确計算，因为它們取决于許多不同的因素。其中不少因素是偶然因素（彈壳与彈膛的摩擦力、部分火藥气体由彈膛与彈

壳壁間逸出、彈壳壁与彈腔之間的原有間隙等)。所有这些都是在对机头加速机构作理論研究时不考虑膛压的理由。

計算机头加速机构的效率时，我們假設，滑輪不轉动。此时基本构件处于某一状态时机头加速机构略圖（圖 86）可如圖 104 所示。

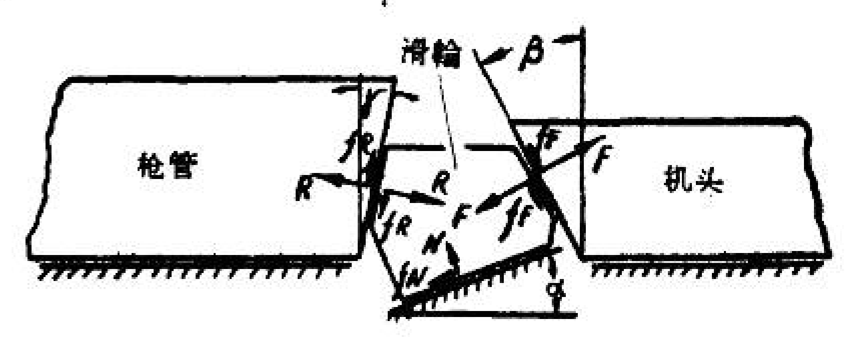


圖104　机头加速机构示意圖。

用相应的反作用力来代替約束并在槍管和机头上加上相应的损耗力 R_c' 和 $R_л'$，便可以認为，該机构的部件处于平衡状态（圖 105）。

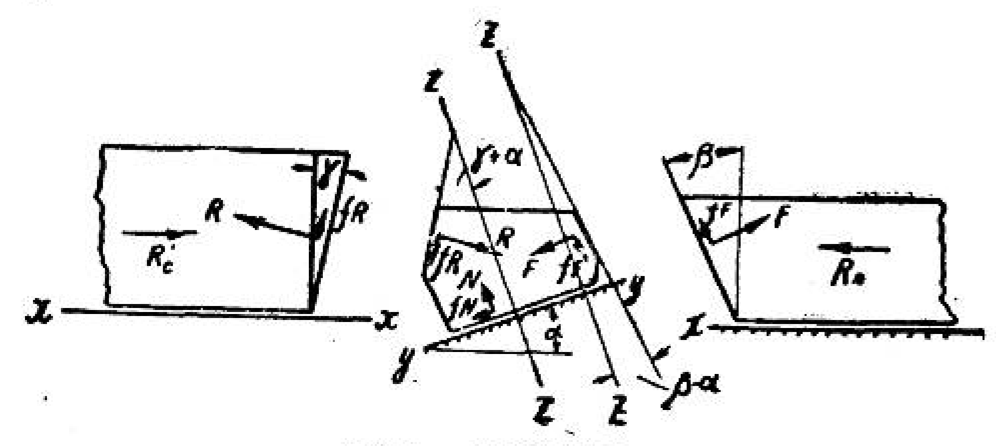


圖105　力的作用圖。

用分析的方法，将平衡条件表示如下：

对于槍管来講，

$$\sum X = R_c' - R(\cos\gamma - f\sin\gamma) = 0。$$

对于机头来講，

$$\sum X = -R_л' + F(\cos\beta - f\sin\beta) = 0。$$

对于滑輪来講，

$$\sum Y = R[\cos(\gamma+\alpha) - f\sin(\gamma+\alpha)] - F[\cos(\beta-\alpha) - f\sin(\beta-\alpha)] - fN = 0,$$

$$\sum Z = N - R[\sin(\gamma+\alpha) + f\cos(\gamma+\alpha)] - F[\sin(\beta-\alpha) + f\cos(\beta-\alpha)] = 0。$$

由后两方程式得出

$$\frac{F}{R} = \frac{(1-f^2)\cos(\gamma+\alpha) - 2f\sin(\gamma+\alpha)}{(1-f^2)\cos(\beta-\alpha)}。$$

因而，

$$\eta_л = \frac{k'_л}{k'_c} k_л = \frac{(\cos\beta - f\sin\beta)[(1-f^2)\cos(\gamma+\alpha) - 2f\sin(\gamma+\alpha)]}{(\cos\gamma - f\sin\gamma)(1-f^2)\cos(\beta-\alpha)} k_л。$$

利用極速度圖(圖88)可以求出傳速比 $k_л$ 的公式：

$$k_л = \frac{v_л}{v_c} = \frac{\cos\gamma\cos(\beta-\alpha)}{\cos(\gamma+\alpha)\cos\beta}。$$

将 $k_л$ 的公式代入 $\eta_л$ 的公式中，則得

$$\eta_л = \frac{(1-f\,\mathrm{tg}\,\beta)[1-f^2-2f\,\mathrm{tg}(\alpha+\gamma)]}{(1-f^2)(1-f\,\mathrm{tg}\,\gamma)}。\qquad (15)$$

利用極速度圖(圖89)可以求出机构在各不同位置时所有的角度 α，β，γ。

圖 106 所示是根据公式(15)計算而得出的圖解关系 $\eta_л = f(x_c)$ 和 $\eta_{cp} = f(x_c)$ 的計算。机头加速結束时 $\eta_{cp} = 0.7$。

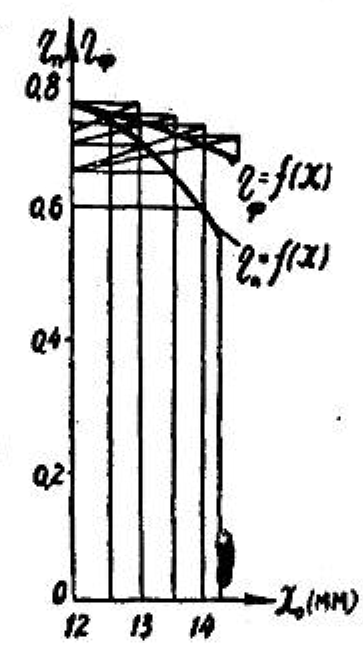


圖106 $\eta_л = f(x)$ 圖解。

弹鏈供弹机构

确定彈鏈供彈机构的效率时，我們将該机构分成两个机构：凸輪机构和杠杆連杆机构。

对于所討論的第二类第三型凸輪机构来講，可以根据下一公式求出效率

$$\eta_к = \frac{1-fk}{k+2f}k,$$

式中

$$k = k'_п \frac{r_R}{r_b}。$$

半徑之比$\frac{r_R}{r_b}$或k值可以根据圖解求出(圖95)。

由于轉动对的存在和滑輪的应用，杠杆連杆机构的效率应接近于1。为了进一步計算該机构的效率起見，可以取

$$\eta_p = 0.9。$$

因而，整个彈鏈供彈机构的效率为

$$\eta_n = \eta_p \eta_к。$$

η_n值与x_3的函数关系以圖解表示（圖107和108）。

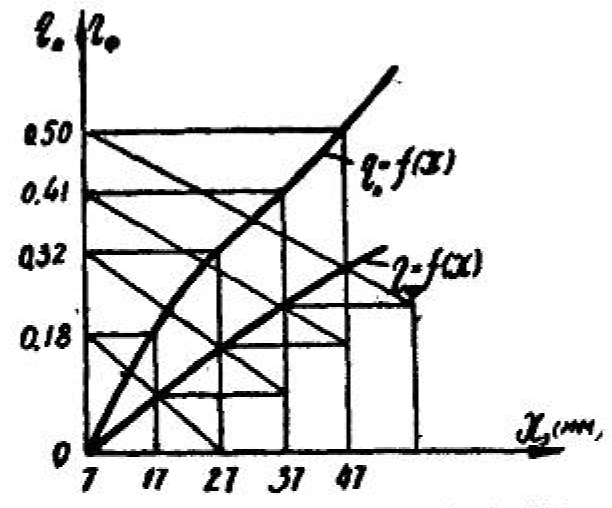


圖107　$\eta_{cp} = f(x)$和$\eta_n = f(x)$圖解。

正如从圖解中所看到的，彈鏈供彈机构的效率变化很大。因此，为了計算簡化質量，我們求出关系式$\eta_{cp} = f(x_3)$。

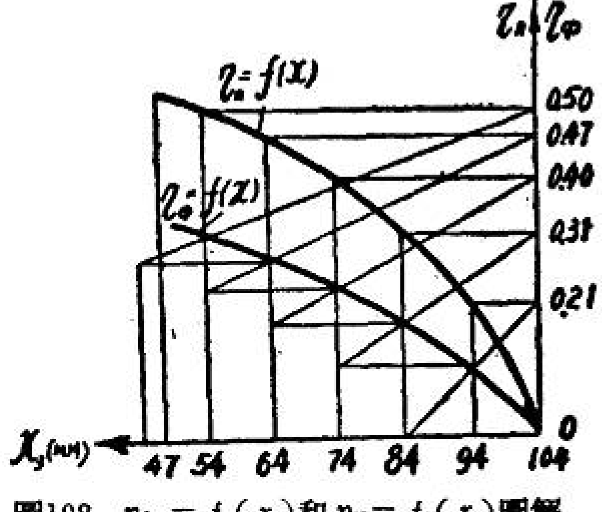


圖108　$\eta_{cp} = f(x)$和$\eta_n = f(x)$圖解。

圖107和108分别表示在受彈器撥彈滑板加速至k_n最大值的期間內，槍机向后和向前运动时，这一关系的圖解計算。

3. 簡化質量的計算

我們根据下一公式求出簡化質量

$$M_{пр} = M_A + M_B \frac{k^2}{\eta_Ф}, \tag{16}$$

式中　M_A——基本构件質量；

M_B——工作构件質量；

k——傳速比；

η_{cp}——传动效率平均值。

枪机体加速机构

对于槍机体加速机构来講，基本构件是带机头的槍管，而工作构件是槍机体。

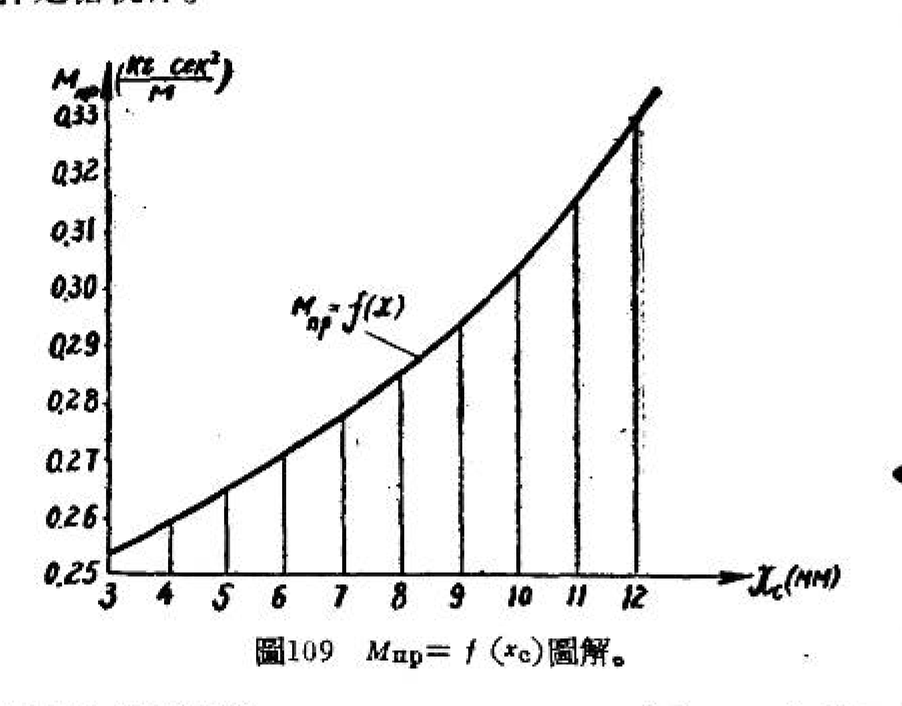


圖109 $M_{np}=f(x_c)$圖解。

基本构件的質量 $M_A=M_{cт}=0.213\ \kappa\imath.\ ce\kappa^2/\mathit{м}$，工作构件的質量$M_B=M_з=0.0348\kappa\imath.\ ce\kappa^2/\mathit{м}$。效率$\eta_з=0.88$。傳速 $k_з$ 比值列于圖 85 中。

圖 109 所示的是根据公式（16）計算而得出的 $M_{np}=f(x_c)$ 圖解。

机头加速机构

对于机头加速机构来講，基本构件是槍管，而工作构件是机头。

基本构件的質量 $M_A=M_c=0.191\ \kappa\imath.\ ce\kappa^2/\mathit{м}$，

工作构件的質量$M_B=M_л=0.0227\kappa\imath.\ ce\kappa^2/\mathit{м}$。

这里，工作构件的質量包括机头質量和彈壳質量。

将質量以及 $k_л$和 η_{cp} 值代入公式

$$M_{np}=M_c+M_л\frac{k_л^2}{\eta_{cp}}。$$

則得簡化質量值:

x_c *мм*	12	13	14	14.2
$M_{пр}$ *кг·сек²/м*	0.240	0.282	0.328	0.376

弹鏈供弹机构

对于彈鏈供彈机构来講，向后运动时的基本构件是槍机体，而向前运动时基本构件是整个槍机(槍机体連同机头)。

向后运动时这些零件的質量（复进簧的質量考虑在內）

$$M_A = M_9 = 0.0348кг.сек^2/м;$$

向前运动时这些零件的質量(复进簧的質量考虑在內)

$$M_A = M_3 = 0.0592\ кг.сек^2/м。$$

該机构的工作构件是受彈器撥彈滑板。因为受彈器撥彈滑板运動时与彈鏈（装有槍彈）和供彈机构的杠杆相連接，所以計算工作构件的質量时应該考虑到这些元件。

用MG–42机槍射击时带弹的彈鏈装在專用的箱中，此箱固定在机槍的受彈器上。

正如試驗証明，随彈鏈供彈机构撥彈滑板一起移动的槍彈的数目随着彈鏈在彈箱內的位置而改变，彈数介于5～10之間。由于彈鏈的运动有这样的特点，因此只能够近似地計算工作构件的質量。

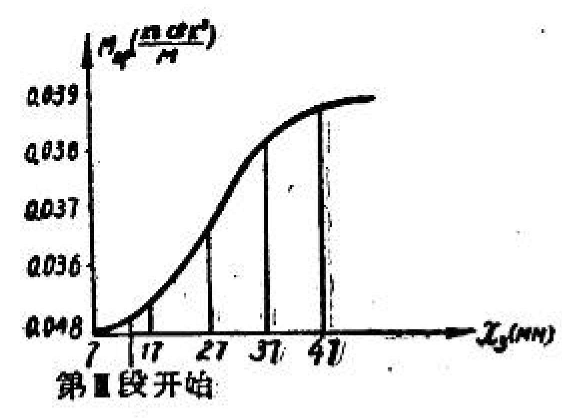


圖110　$M_{пр} = f(x)$ 圖解。

根據上述我們假設，彈鏈供彈时彈鏈上有10發槍彈与撥彈滑板連接；彈鏈的彈性和供彈机构杠杆的質量不加考虑。

根据这一假設，供彈机构的工作构件質量是

$$M_B = M_п = 0.034 кг.сек^2/м。$$

考虑到受彈器撥彈滑板与彈鏈的連接是單边的，故仅計算傳速比 $k_п$ 最大值之前的簡化質量。

我們根据下一公式求出簡化質量

$$M_{пр} = M_з + M_п \frac{k_п^2}{\eta_{ср}}。$$

$k_п$ 和 $\eta_{ср}$ 之值取自圖解（圖 101；102；107；108）。在圖解（圖 110 和 111）上表示出达到最大傳速比 $k_п$ 值之前，槍机在各种不同的位置，向后运动或向前运动时的簡化質量。

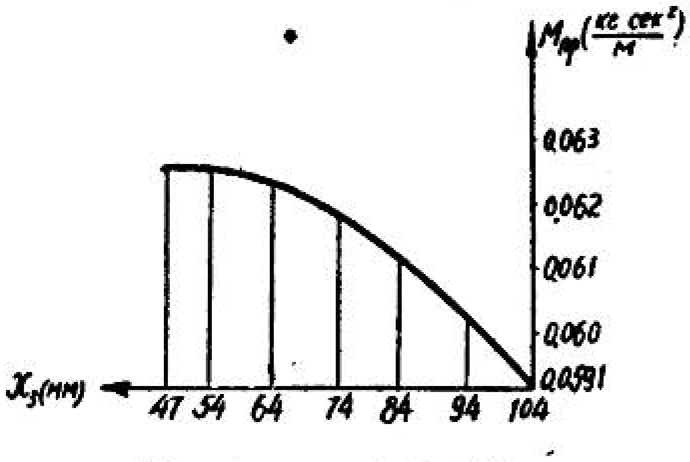


圖111　$M_{пр} = f(x)$ 圖解。

4. 力的确定

与基本构件的座标有关的力

与基本构件的座标有关的力是槍管复进簧和槍机复进簧的彈性力以及緩冲器簧的彈性力。

圖112　$П_з = f(x_з)$圖解。

說明圖解关系 $П_с = f(x_с)$；$П_б = f(x_в)$；$П_з = f(x_з)$ 的这些彈簧圖解示于圖 112，113，114 中。槍管复进簧內力变化圖解的特点是由于以下的原因决定的，这个彈簧是由四根單独的彈簧組成的（圖115），这些彈簧先是依次工作，然后变成同时工作。

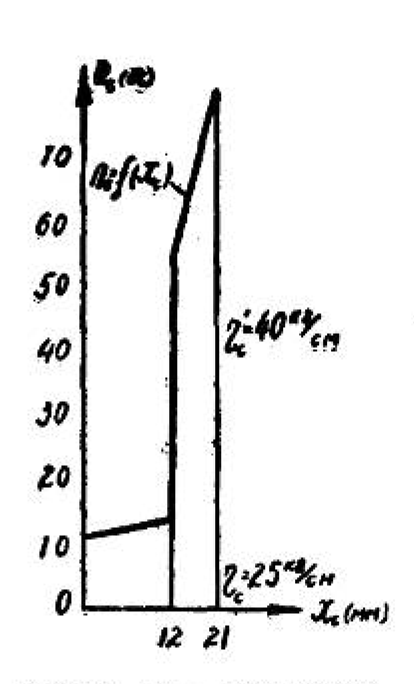


图113 $\Pi_6 = f(x_6)$圖解。

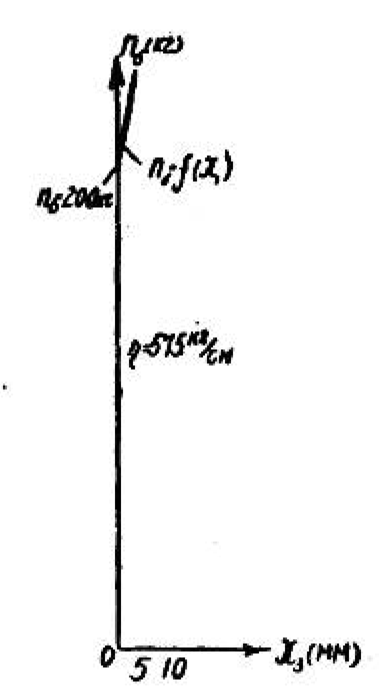


圖114 $\Pi_c = f(x_3)$圖解。

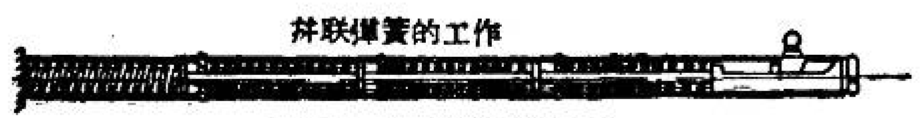


圖115 槍管簧工作略圖。

与时間有关的力

与时間有关的力是膛內的火藥气体压力。

彈丸飞出槍膛前，膛內的火藥气体压力变化規律，我們不去研究它。因为在这个期間槍管和槍机的运动特征数可以作为制动后座的諸元求出。

我們假設，在火藥气体后效期膛压的变化規律为：

$$p = p_{\kappa} e^{-At} \text{ 当 } A = 0.365 \frac{\beta^2}{\beta - 0.5} \frac{v_0}{L'} \tag{17}$$

$$\beta = 1.5 \frac{d}{v_0} \sqrt{\frac{p_{\kappa} L' g}{\omega}}, \tag{18}$$

式中 p_{κ}——彈丸飞出瞬間的膛压($p_{\kappa} = 770 \kappa г/с м^2$)；

e——自然对数的底；

t——自火藥气体后效期开始时的气体作用时間；

d——口徑（$d=7.92$ мм）；

L'——彈丸在膛內的行程和藥室的簡化長度（$L'=543$ мм）；

ω——装藥重量（$\omega=2.75$ г）；

v_0——彈丸的初速（$v_0=740$ м/сек）。

将数值代入公式(17)、(18)中，則得

$$p=770e^{-1320t},\quad A=1320\ 1/сек。$$

使槍管和槍机运动的火藥气体压力是 $ps\mu$，其中：μ——槍口帽特征数（$\mu=2.5$）；s——槍膛横断面面积（$s=0.514 см^2$）；p——后效期火藥气体压力。$P=ps\mu$ 的力的变化規律示于圖解中（圖116）。

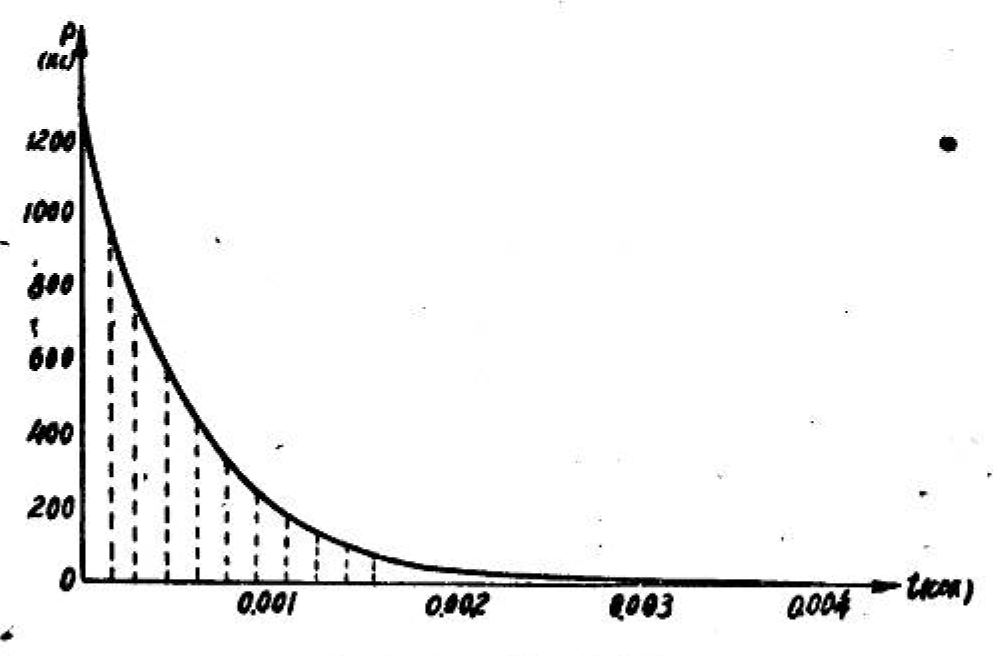


圖116　$P=f(t)$圖解。

5.簡化力的計算

槍机体加速机构工作时

在膛內的火藥气体后效期，槍机体加速机构工作。基本构件是槍管；工作构件是槍机体。

在带有机头的槍管上作用有槍膛底上的和槍管前切面上的运动着的火藥气体压力（$P=ps\mu$），因滑輪在火藥气体压力作用下拼攏而产生的阻力 $2fps_1(\mathrm{tg}\,\alpha+f)$，以及槍管复进簧的阻力 Π_c。在槍机上作用有复进簧的阻力 $\Pi_з$。

在槍机体加速机构工作期間内幷考慮到在此期間的作用力时，基本构件的簡化力的公式可以写成如下的形式：

$$Q_c=ps\mu\left[1-\frac{2fs_1}{\mu s}(\mathrm{tg}\,\alpha+f)\right]-\Pi_c-\Pi_з\frac{k_з}{\eta_з}, \qquad (19)$$

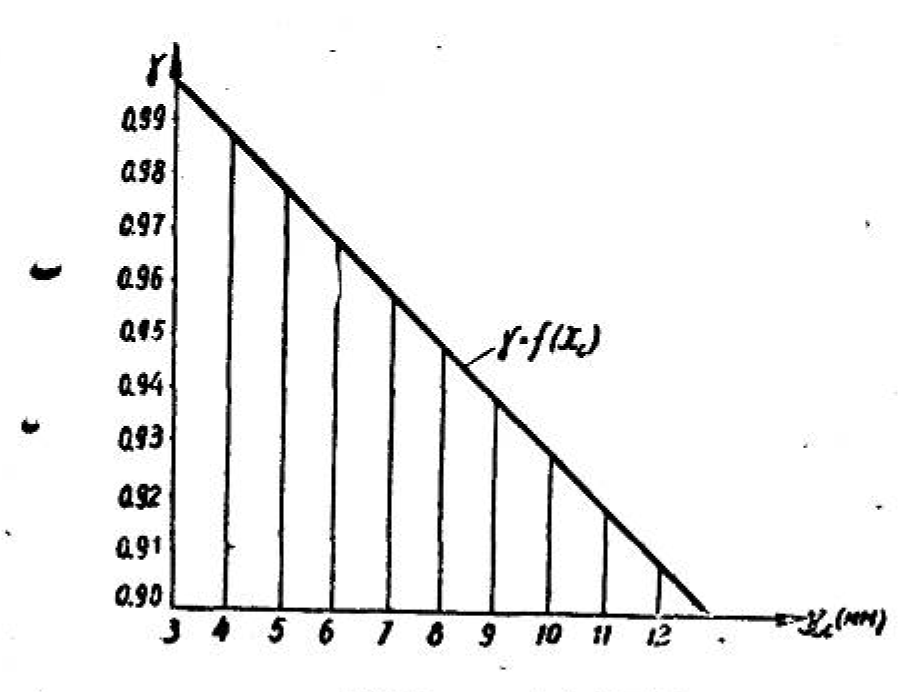


圖117　$\gamma=f(x_c)$圖解。

式中　p——后效期火藥气体压力[$p=f(t)$]；

s——槍膛横断面面积($s=0.514\,cм^2$)；

μ——考虑到槍口帽作用的系数（$\mu=2.5$）；

f——摩擦系数（$f=0.1$）；

s_1——簧壳底的面积($s_1=0.96\,cм^2$)；

α——机匣板理論断面的傾角 $\alpha=f(x_c)$；

Π_c——槍管彈簧的内力 $\Pi_c=f(x_c)$；

$\Pi_з$——槍机复进簧的内力 $\Pi_з=f(x_з)$；

$k_з$——傳速比；

$\eta_з$——效率($\eta_з=0.88$)。

如果在公式(19)中引用下列符号

$$1-\frac{2fs_1}{\mu s}(\mathrm{tg}\,\alpha+f)=\gamma;\quad ps\mu=P;\quad П_c-П_з\frac{k_з}{\eta_з}=F,$$

則前式可写为下述形式:

$$Q_c=P\gamma-F,$$

式中 $P=f(t)$; $\gamma=f(x_c)$; $F=f(x_c)$。

$P=f(t)$关系式前已列出（圖116)。关系式$\gamma=f(x_c)$和$F=f(x_c)$示于圖117和118中。

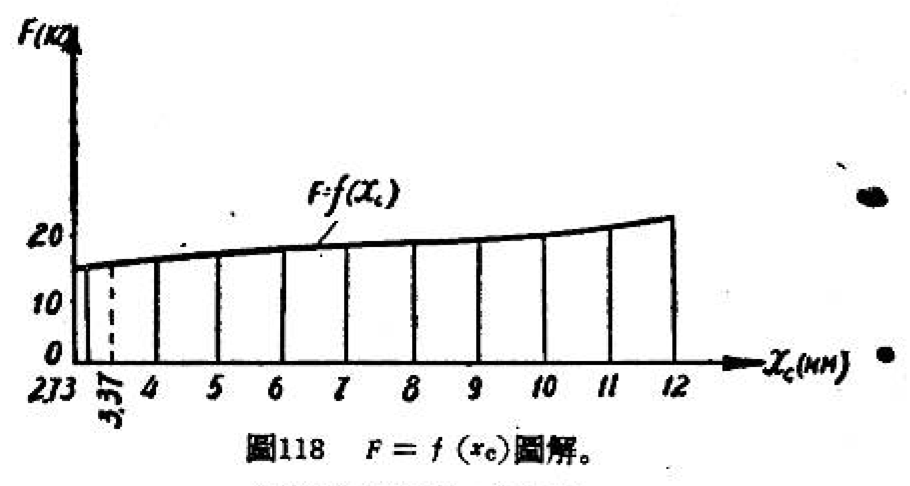


圖118 $F=f(x_c)$圖解。

弹鏈供弹机构工作时

弹鏈供弹机构工作时基本构件是槍机，而工作构件是带弹鏈的受弹器撥弹滑板。

槍机处在复进簧内力$П_з$作用下，而在受弹器撥弹滑板上作用有弹鏈进入受弹器时产生的阻力。根据試驗数据，可以設此阻力为常数并使$R=1$公斤。

基本构件（槍机）的簡化力等于:

当槍机向后运动时

$$Q=-П_з-P\frac{k_п}{\eta_п};$$

当槍机向前运动时

$$Q=П_з-R\frac{k_п}{\eta_п}。$$

$П_з$; $k_п$; $\eta_п$的值是已知的(圖101; 102; 107; 108; 112)。将

数值代入后一公式中，则得槍机向后运动和向前运动时彈鏈供彈机构工作期間的关系式 $Q = f(x_3)$。关系式 $Q = f(x_3)$ 的圖解示于圖 119 和 120。

圖 121 和 122 所示的圖解表示質量和力随机构的基本构件座标的变化。在这些圖解上标出了主要計算段。

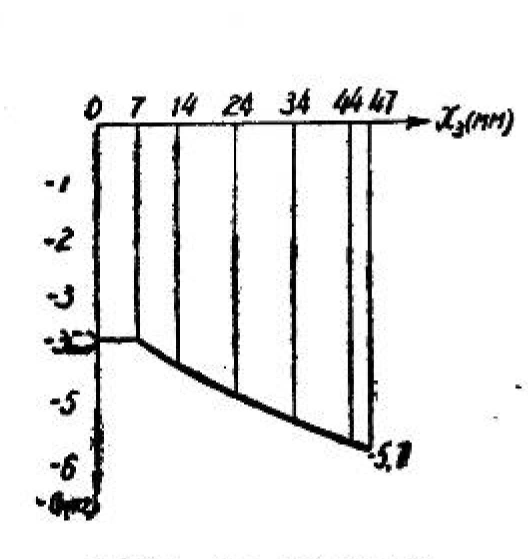


圖119　$Q = f(x)$ 圖解。

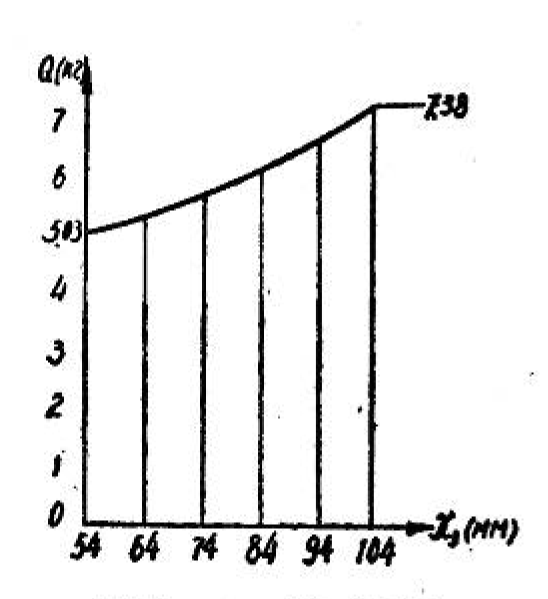


圖120　$Q = f(x)$ 圖解。

6.武器剛性連接时自动机的計算

自动机的計算按照質量和力的变化圖解上所指出的各段来进行。

第 1 段（$x_c = 0 \sim 2.68$ мм）

在此运动段上基本构件的質量（槍管的質量）$M_c = 0.254$ кг.сек²/м。槍管在取决于时間的力（膛內火藥气体压力）和取决于座标的力（槍管复进簧和槍机复进簧的彈性力）的作用下移动。

此运动段上力的作用特点是与基本构件座标有关的力比膛內火藥气体压力小得多。

这就可以在研究了自由后座时的运动之后应用近似的方法来考虑与基本构件座标有关的力。然后再对此力的計算进行修正。

彈丸飞出槍膛瞬間槍管的速度和位移根据下列公式求出：

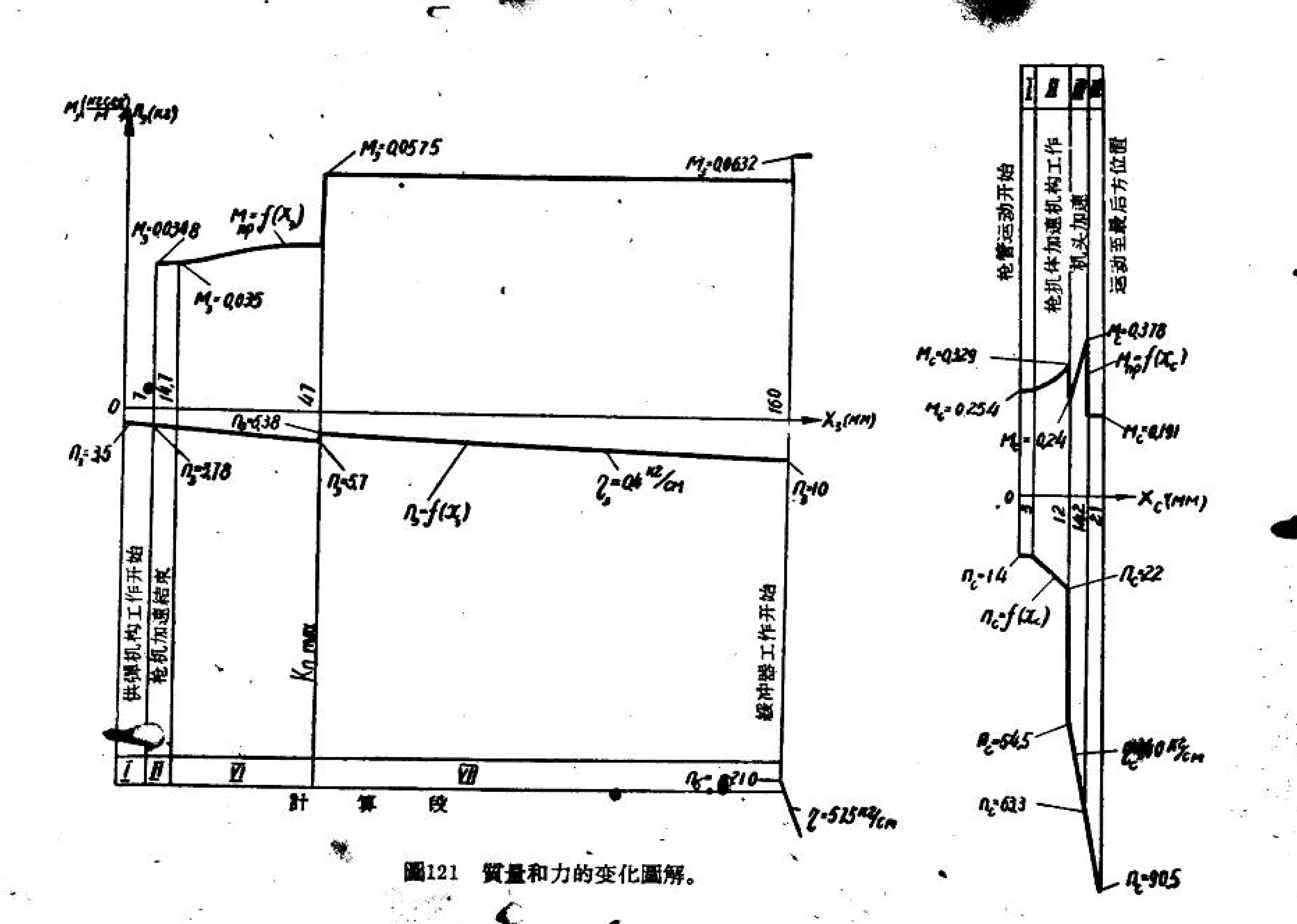


圖121　質量和力的变化圖解。

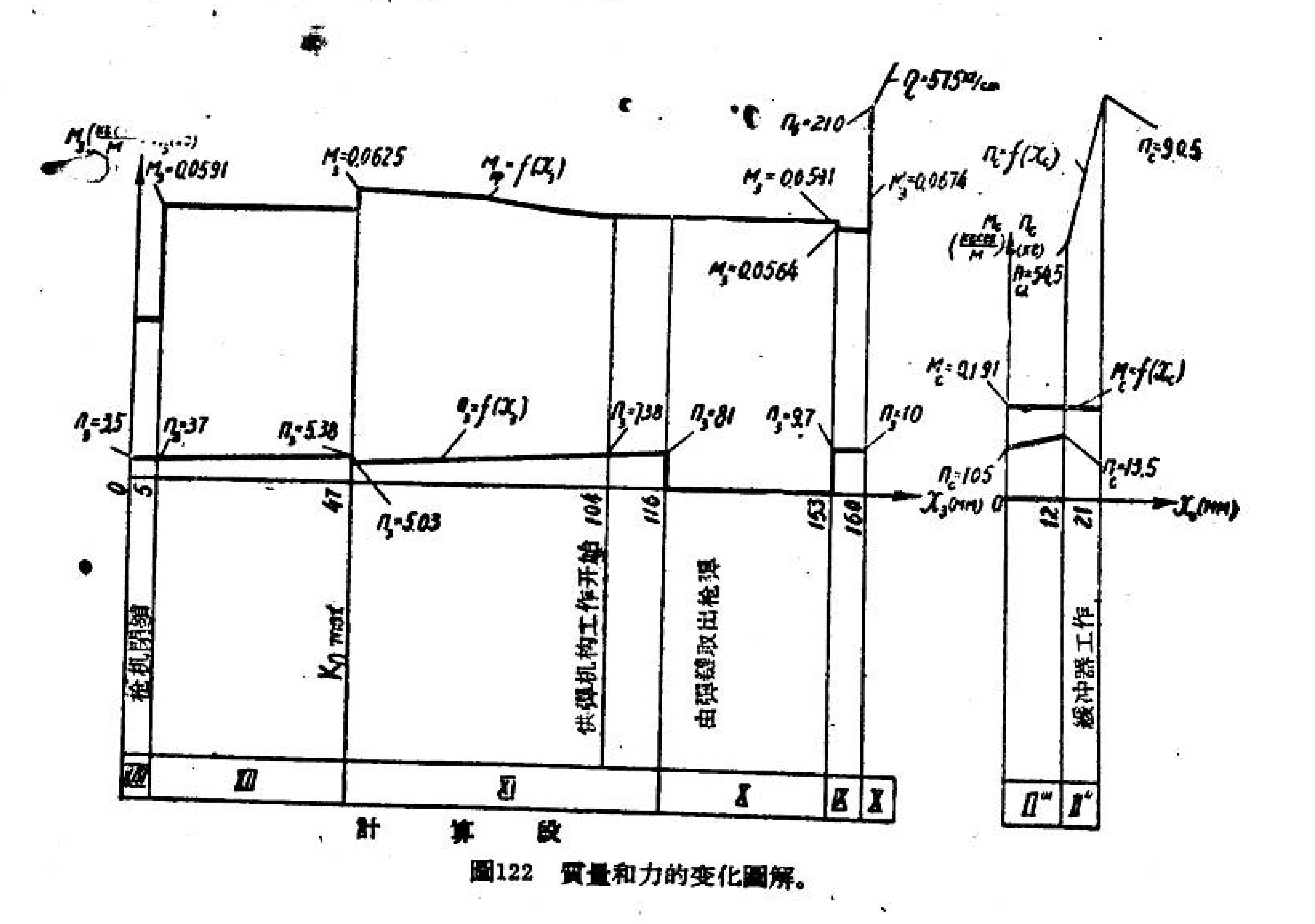


圖122　質量和力的变化圖解。

$$V_c = \frac{q+0.5\omega}{Q_c} v_0, \quad x_c = \frac{V_0}{v_0} L。$$

式中　q——彈丸重量（$q = 12.8\ г$）；

ω——装藥重量（$\omega = 2.75\ г$）；

Q_c——活动部分重量（$Q_c = 2480\ г$）；

v_0——彈丸初速（$v_0 = 740\ м/сек$）；

L——彈丸在膛內的行程（$L = 478\ мм$）。

将数值代入这些公式中，則得

$$v_c = 4.24 м/сек, \quad x_c = 2.73\ мм。$$

根据內彈道学問題的解法求出彈丸在膛內的运动时間（$t_0 = 0.00136 сек$）和彈丸飞出瞬間膛內的火藥气体压力（$p_д = 770\ кг/см^2$）。

計算阻力时的修正量（对速度和位移之修正量）根据下列公式求出：

$$\Delta V_0 = \frac{R t_0}{M_c}, \quad \Delta x_0 = \Delta V_0 \frac{t_0}{2},$$

式中　R——在所研究的运动段上的平均制动力（$R = 14.4\ кг$）；

M_c——活动部分質量（$M_c = 0.254\ кг.сек^2/м$）。

将数值代入，則得

$$\Delta V_0 = 0.077\ м/сек, \quad \Delta x_0 = 0.053\ мм。$$

考虑修正量的槍管速度和位移等于

$$\overline{V_0} = V_0 - \Delta V_0 = 4.16\ м/сек,$$

$$\overline{x_0} = x_0 - \Delta x_0 = 2.68\ мм。$$

因而，第一运动段結束时：

$$x_{c1} = 2.68\ мм; \quad V_{c1} = 4.16 м/сек; \quad t = 0.00136\ сек。$$

第2段（$x_c = 2.68 \sim 12\ мм$）

在此运动段上簡化質量是变化的（槍机体加速机构开始工作）。在基本构件（槍管）上作用有随时間变化的力（火藥气体压力）和随其座标变化的力（复进簧彈性力）。后一力在一段的起点比火藥气体压力小得多。但是，在所研究的运动段的終点这两个力几乎相等。

表示基本构件在此运动段运动的微分方程式可表示如下

$$\frac{dV_c}{dx_c}=\frac{P\gamma-F}{V_cM_{\text{пр}}}-\frac{1}{2}V_c\frac{dM_{\text{пр}}}{dx_cM_{\text{пр}}},\tag{20}$$

式中

$M_{\text{пр}}$——簡化質量，其变化如$M_{\text{пр}}=f(x_c)$圖解所示(圖109)；

P——仅与时間有关的力（考慮到槍口装置作用的膛底火藥气体压力)。該力的变化規律示于圖解中(圖116)；

γ——槍机开鎖时所产生的摩擦力的系数；該系数的变化規律示于圖解中（圖117)；

F——仅与座标x_c有关的簡化力；該力的变化規律示于圖解中（圖118)；

V_c——基本构件速度$V_c=\dot{x}_c$。

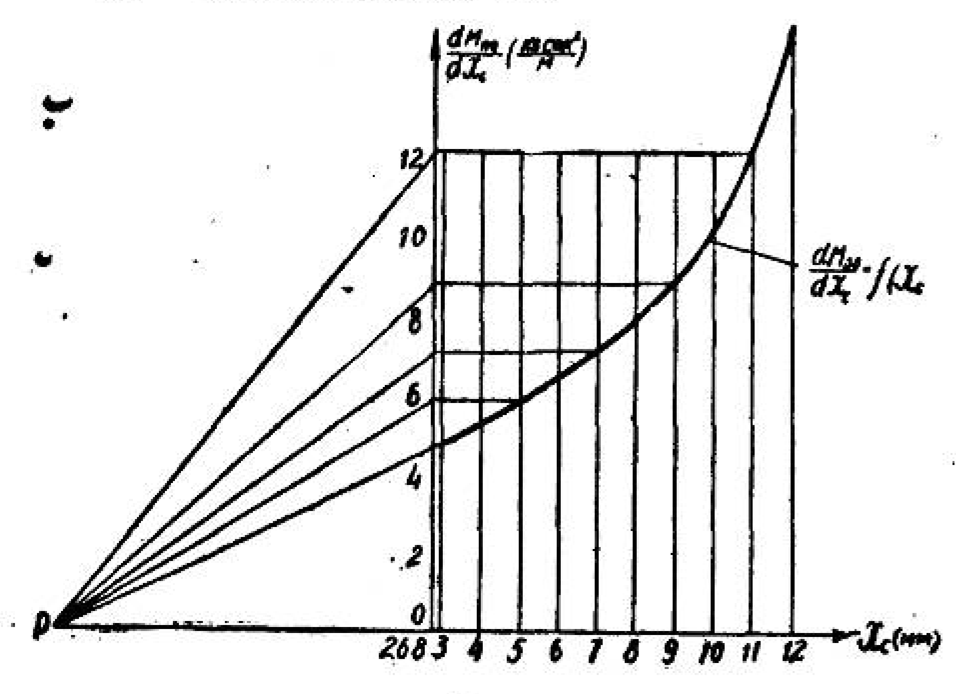


圖123 $\frac{dM_{\text{пр}}}{dx_c}=f(x_c)$圖解。

我們利用圖解解析法解此微分方程式。

我們选擇座标x_c作为自变量并对x_c的下列各值进行积分：$x_c=2.68$ мм；$x_c=4$ мм；$x_c=6$ мм；$x_c=8$ мм；$x_c=10$ мм；$x_c=12$ мм。

速度初值$V_c=\dot{x}=4.16$ м/сек。

圖124 圖解积分。

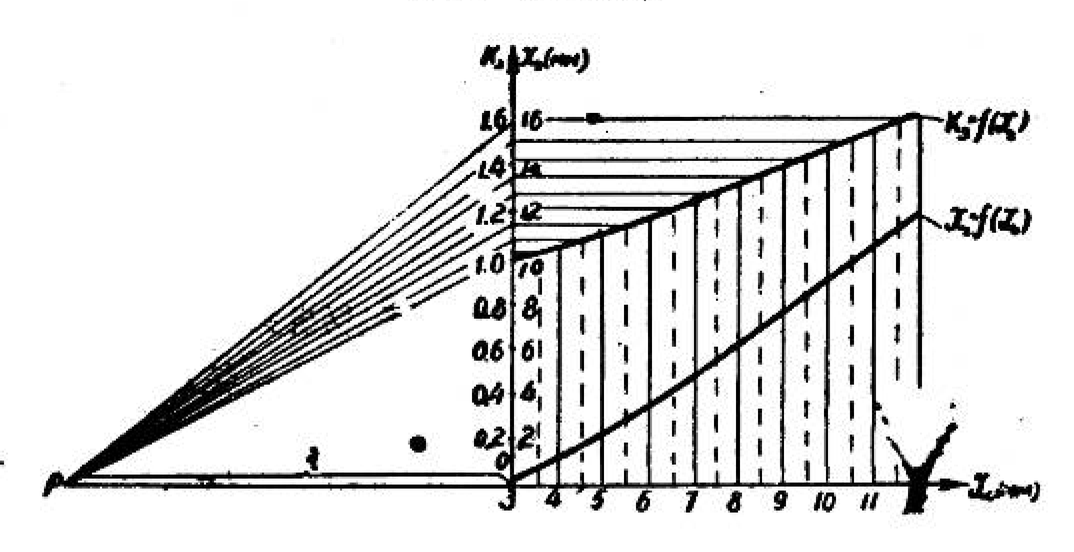


圖125 槍机位移的确定。

$\frac{dM_{\text{пр}}}{dx_c}$值是由对函数 $M_{\text{пр}}=f(x_c)$ 进行圖解微分而得出的（圖 123）。

方程式的圖解积分示于圖 124 中。槍机体加速机构工作結束时，有下列运动特征数：

槍管座标	$x_{c_2}=12$ *мм*。
槍管速度	$V_{c_2}=5.8$ *м/сек*。
加速机构工作时間	$t_y=0.0016$ *сек*。
槍管开始运动的时間	$t=0.00296$ *сек*。
槍机体速度	$V_{з2}=V_{c_2}k_з=9.9$ *м/сек*。
槍机体座标	$x_{з2}=x_{зy}+x_{c_1}=14.7$ *мм*。

加速机构工作时，槍机的位移利用圖解积分（圖 125）由表达式 $x_{зy}=\int_{x_{c_1}}^{x_{c_2}}k_з dx_c$ 求出。

第 3 段（$x_c=12\sim14.2$ *мм*）

在此运动段上机头产生加速运动。基本构件是槍管，工作构件是机头。

簡化質量是变化的，而且是基本构件座标的函数。

槍管在槍管簧作用下运动。在机头上仅作用有約束反作用力。

此期間的运动方程式如下：

$$V_c^2=\frac{M_cV_{c2}^2-2\int_{x_{c_2}}^{x_c}\Pi_c dx_c}{M_{\text{пр}}},\tag{21}$$

式中

M_c——槍管質量（不包括机头）；

V_{c_2}；V_c——在所研究的运动段的起点上的槍管速度和任意瞬間的槍管速度；

$M_{\text{пр}}=M_c+M_л\frac{k_л^2}{\eta_{cp}}$——簡化質量；

$M_л$——机头質量；

$k_л$——傳速比；

η_{cp}——效率平均值；

Π_c——槍管复进簧的阻力。

为了求出机头加速結束时槍管的速度，将公式（21）化成下一形式

$$V_{c3}=\frac{M_cV_{c2}^2-\int_{x_{c2}}^{x_{c3}}(\Pi_{c2}+\Pi_{c3})dx_c}{M_c+M_л\frac{k_{лm}^2}{\eta_{cp}}}$$

$$=\frac{M_cV_{c2}^2-(\Pi_{c2}+\Pi_{c3})(x_{c3}-x_{c2})}{M_c+M_л\frac{k_{лm}^2}{\eta_{cp}}},\tag{22}$$

式中

$\Pi_{c2};\Pi_{c3}$——机头加速运动开始和結束时槍管簧內力；

$k_{лm}$——机头加速結束时的傳速比。

在公式（22）中代入下列各值：

$M_c=0.191$ кг.сек²/м；

$\Pi_{c2}=54.5$ кг；

$x_{c3}-x_{c2}=2.2$ мм；

$k_{лm}=2.4$；

$M_л=0.0227$ кг.сек²/м；

$\Pi_{c3}=63.3$ кг；

$V_{c2}=5.8$ м/сек。

将这些值代入公式（22）中，則得机头加速結束时槍管的速度 $V_{c3}=4.2$ м/сек。

同时，机头的速度为

$$V_л=V_{c3}k_{лm}=4.2\times2.4=10.2 \text{ м/сек}。$$

求机头加速时的位移如同求槍机体的位移一样，利用图解积分（圖 126）根据表达式 $x_л=\int_{x_{c2}}^{x_{c3}}k_лdx_c$ 求出。

机头加速机构工作时間可以根据平均速度求出

$$t_{л}=0.00044\ сек。$$

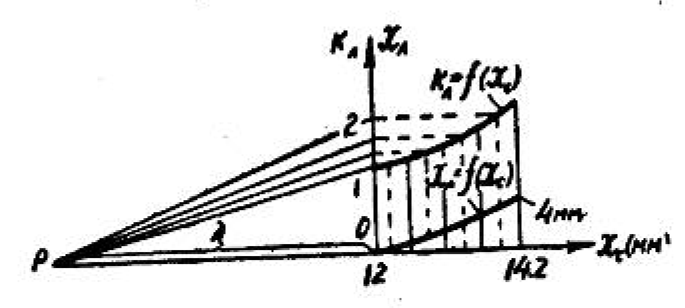


圖126 槍机向后运动的圖解計算。

第 3 段結束时有下列运动特征数:

$$V_{c3}=4.2\ м/сек;\ x_{c3}=14.2\ мм;\ t=0.00340\ сек;$$

$$V_{л}=10.2\ м/сек;\ x_{л}=4\ мм。$$

第 4 段 ($x_c=14.2\sim21\ мм$)

在此运动段上，槍管复进簧有阻力时，槍管借慣性来运动；复进簧力作为槍管座标的函数而变化。

該运动段結束时的速度可以根据下一公式求出:

$$V_{c4}=\sqrt{V_{c3}^2-\frac{П_{c3}+П_{c4}}{M_c}(x_{c4}-x_{c3})}。$$

将数值代入这一公式中，則得

$$V_{c4}=3.5\ м/сек。$$

此段上的运动时間根据平均速度求出:

$$t_4=0.00175\ сек。$$

因而，第 4 段結束时

$$V_{c4}=3.5\ м/сек;\ x_{c4}=21\ мм;\ t=0.00515\ сек。$$

第 4 段結束时槍管与套筒突出部發生撞击。假設，机槍套筒是剛性固定并取恢复系数 $b=0.25$，則得撞击后槍管的速度:

$$V'_{c4}=-bV_{c4}=-0.87\ м/сек。$$

第 5 段 ($x_c=20\sim0\ мм$)

在此运动段上槍管在其复进簧的作用下移动。在槍管运动的最初 9мм 的路程內槍管的四个彈簧同时工作，而后依次工作。在

該枪管运动段上槍管彈簧內力为槍管座标函数而成直綫变化。

彈簧并联工作結束时槍管的速度可以根据下一公式求出：

$$V'_{c5}=\sqrt{V^2_{c4}+\frac{\Pi_{c4}+\Pi'_{c5}}{M_c}(x'_{c5}-x_{c4})}=-2.84\ м/сек。$$

第5段結束时槍管的速度

$$V_{c5}=\sqrt{V'_{c5}+\frac{\Pi_{c5}+\Pi'_{c5}}{M_c}(x_{c5}-x'_{c5})}=-\ 2.96\ м/сек。$$

运动时間根据平均速度求出：

1）彈簧同时工作时

$$t'=0.00485\ сек;$$

2）在整个第5运动段上

$$t_5=0.008\ сек。$$

在第5运动段結束时有下列运动特征数：

$$x_{c5}=0;\ V_{c5}=3.2\ м/сек;\quad t=0.0132\ сек。$$

第6段　($x_0=14.7\sim47\ мм$)

在此段上彈鏈供彈机构工作。基本构件是槍机体。基本构件（槍机体）的簡化質量是其座标的函数（參看圖110）。作用于槍机上的力（复进簧阻力）随其座标成直綫变化；作用于工作构件上的力（受彈器撥彈滑板）为一常量。

槍机体在此段上的运动的圖解解析研究示于圖127中。

在此段結束时$V_{з6}=9\ м/сек$，$x_{з6}=47\ мм$，$t=0.00339\ сек$。

槍机在此段上运动时机头相对于槍机移动。加速后，机头在$t_y=0.00044\ сек$內通过路程$x_л=4\ мм$，而后自由移动，因而，在整个时間內$t=0.00339\ сек$机头通过路程

$$x'_л=x_л+V_л(t-t_y)=0.034\ м\ 或\ x'_л=34\ мм,$$

卽比槍机体長1.7 мм。

实际上机头相对于槍机体可能移动1.5 мм。因此，机头撞击槍机体是在槍机体自前方位置起倘未通过47 мм时就發生了。然而，实际上，考虑到准确計算这一撞击时間对于活动部分的运动沒有显著影响，我們便認为槍机体相对于机匣移动47 мм时产生

此撞击。

我們假設，撞击是非彈性的，可得如下的撞击后槍机速度（槍机体和机头）：

$$V'_{зб}=\frac{V_{зб}M_з+V_лM_л}{M_л+M_з}=9.5\ м/сек,$$

式中 $M_з$——槍机体質量；

$M_л$——机头質量；

$V_{зб}$；$V_л$——撞击前槍机体的速度和机头的速度。

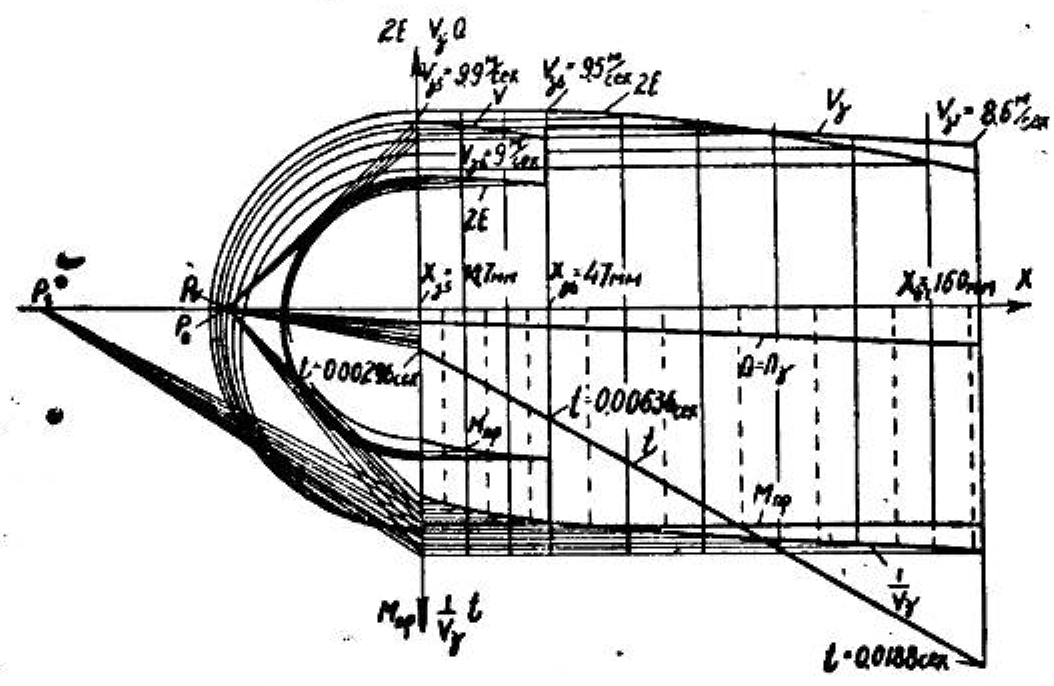


圖127 槍机向前运动的圖解計算。

第 6 段結束时运动的特征数为：

$V'_{з6}=9.5\ м/сек$； $x_{з6}=47\ мм$； $t=0.00635\ сек$。

第 7 段 （$x_з=47\sim160\ мм$）

在此段上槍机在复进簧阻力作用下撞击緩冲前借慣性作用而移动。

槍机的質量是一常量。阻力是槍机座标的函数成綫性变化。槍机体在此段上的运动是利用圖解解析法研究的（圖 127）。在此段結束时得出：

$V_{з7}=8.6\ м/сек$； $x_{з7}=160\ мм$； $t=0.0188\ сек$。

第 8 段 （$x_3=160\sim\cdots\cdots$ мм）

在此段上槍机緩冲装置工作。在緩冲簧压縮期間槍机質量不变化。

緩冲簧內力为槍机座标 x_3 之函数而成綫性变化的。緩冲器工作开始前进行抛壳。抛壳是利用安在槍机体上的抛壳挺而实現的。槍机接近緩冲器时抛壳挺的套筒抵在緩冲器上而进行抛壳。此后，槍机体稍許越过机头并撞击緩冲器套筒。繼續运动时在槍机体与緩冲器套筒之間可能产生数次連續撞击。此外，同时發生机头与槍机体的撞击。这些撞击使緩冲器簧的工作大为复杂。

緩冲器撞击后槍机的速度可以根据下列公式概略地求出：

$$V_{38}=-V_{37}e^{-\frac{\mu}{p}\pi},$$

式中

$$\mu=\frac{6\eta_6^{1.15}}{10^6M_8^{1.6}};$$

$$p=\sqrt{\frac{\eta_6}{M_8}};$$

M_8——槍机体連同与它相連接的部分的質量；

η_6——緩冲器彈簧剛度系数。

将数值代入上述公式中，則得

$$V_{38}=-0.59\,V_{37}\approx5\ м/сек。$$

进一步計算时采用此速度。假設槍机与緩冲器的撞击相当于彈性体的撞击。将抛壳也包括在此撞击中，便可以求出撞击时速度恢复系数 $b=\left|\frac{V_{38}}{V_{37}}\right|=0.59$。

緩冲器工作时間概略等于 $t_6=0.0035$ сек。

第 9 段 （$x_3=160\sim153$ мм）

在此段上槍机在复进簧的作用下移动。槍机的質量是一常量 $M_3=0.0564$ кг.сек²/м。复进簧內力是槍机座标的函数，成綫性变化。根据运动的圖解解析研究（圖 128），在此段上有：

运动段結束时槍机的速度	$V_{39}=-5.06$ м/сек。
在此段上的运动时間	$t_9=0.0013$ сек。

自运动开始时起的时間 $t_{\smile}=0.0236$ *сек*。

槍机座标 $x_{39}=153$ *мм*。

第 10 段 ($x_{3}=153\sim116$ *мм*)

在此段上槍机在复进簧的作用下移动，并同时受由彈鏈中抽出之槍彈阻力的作用。此力的平均值約为 6～10 *кг*。在所研究的运动段开始时槍彈与槍机連接起来。

假設，槍彈与槍机是由于非彈性撞击而連接起来的；那么槍彈連接后槍机的速度等于

$$V'_{39}=V_{39}\frac{M_{3}}{M_{3}+M_{\Pi}},$$

式中 $M_{\Pi}=0.0027$ *кг·сек²/м*——槍彈質量；

$M_{3}=0.0564$ *кг·сек²/м*——槍机質量。

将数值代入后一公式中，則得

$$V'_{39}=-4.85\ м/сек。$$

考慮到由彈鏈中抽彈时产生的阻力的非稳定性，以及此阻力

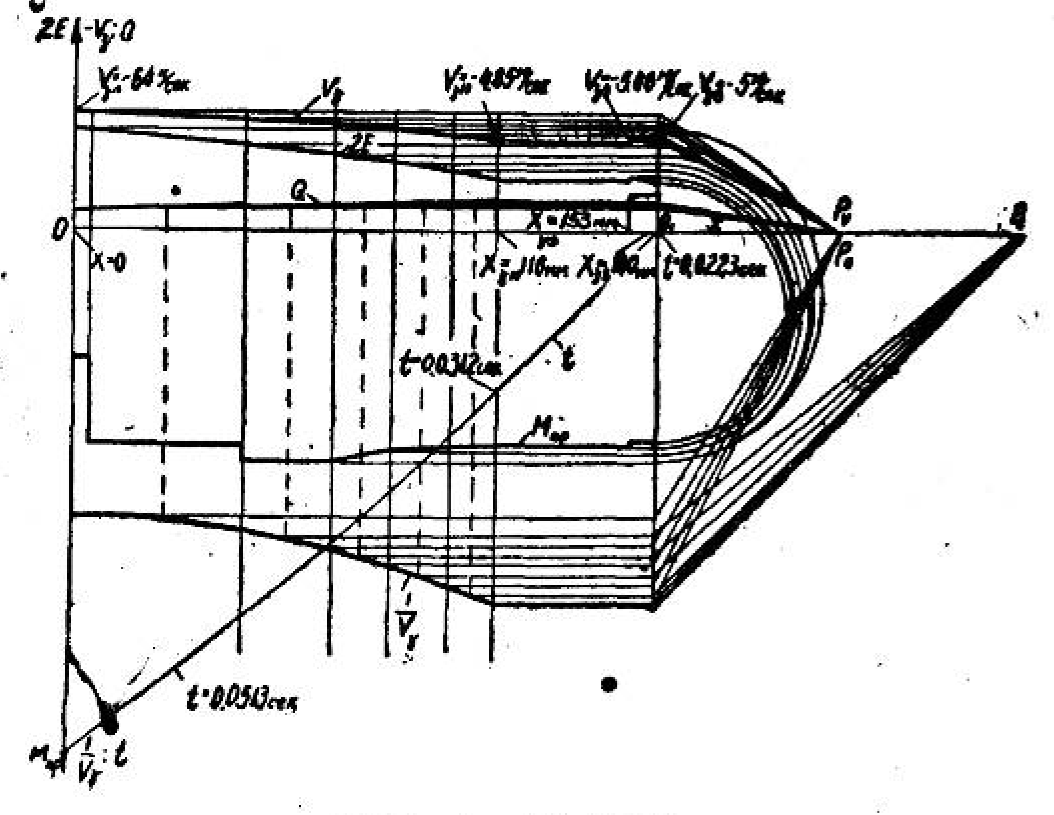


圖128 $k_{л}=f(x_{c})$圖解。

的大小与复进簧力的大小大致相等，因此，我們認为在此段上槍机是自由运动的。在此假設的条件下，第 10 段結束时槍机 的 速度等于

$$V_{з10}=-4.85\ м/сек。$$

在此运动段上的运动时間　$t_{10}=0.0076\ сек$。

自运动开始时起的时間　$t=0.0312\ сек$。

第 11 段 ($x_з=116\sim47\ мм$)

在此段上彈鏈供彈机构工作。槍机簡化質量是槍机座标的函数。簡化力也是槍机座标的函数。

根据此段上的运动的圖解解析研究（圖 128），得出：

此段結束时槍机的速度　$V_{з11}=-6.1\ м/сек$，

此段的运动时間　$t_{11}=0.0126\ сек$，

自运动开始时起的时間　$t=0.0438\ сек$。

第 12 段 ($x_з=47\sim5\ мм$)

在此段上槍机在复进簧的作用下移动。

此段結束时槍机的速度　$V_{з12}=6.36\ м/сек$。

在此段上的运动时間　$t_{12}=0.0675\ сек$。

自运动开始时起的时間　$t=0.0505\ сек$。

第 13 段 ($x_з=5\sim0\ мм$)

在此段上槍机进行閉鎖。槍机体簡化質量發生变化。簡化力是槍机座标的函数而成綫性变化。

考虑到此段上的簡化質量变化影响很小，因此，我們取槍机体質量不变而在彈簧作用下运动。

此段結束时槍机体的速度　$V_{з13}=6.4\ м/сек$。

此段上的运动时間　$t_{13}=0.0008\ сек$。

自运动开始时起的时間　$t=0.0513\ сек$。

最后的时間代表自动机工作循环时間 $t_ц$。因而，預期的射击速度是

$$n=\frac{60}{t_ц}=1160\ выстр/мин\ (發/分)。$$

根据試驗数据求出之 $t_{ц}=0.051\ сек$。

7.武器緩冲时自动机的計算

我們对机槍緩冲的一个可能的方案进行自动机的計算，計算时应用下列緩冲器彈簧特征数。

緩冲器彈簧預压力 $П_{к}=46\ кг$。

緩冲器彈簧剛度系数 $\eta_{к}=18.4\ кг/см$。

机槍滑板上的常量摩擦力 $R_{к}=3\ кг$。

計算时用下列重量諸元

机槍重量……………………………………$Q_0=10.3\ кг$。
定向滑板重量………………………………$Q_н=3.14кг$。
緩冲器彈簧重量……………………………$Q_п=0.18кг$。

根据这些数据并考慮到緩冲器彈簧質量（槍管和槍机的質量除外），来計算机槍机匣（連同定向滑板）質量。

$$M_{к}=1.123\ кг\cdot сек^2/м。$$

我們根据質量和力的圖解上所划分出的运动段来进行計算（圖 121 和 122）。

第 1 段 （$\xi=0\sim2.68\ мм$）

在此段上槍管与槍机在膛內的火藥气体压力作用下一起运动并承受彈簧的阻力。

彈丸飞出槍膛之前，在机槍的机匣上作用有三个力：向前的有緩冲器彈簧力，向后的有槍管复进簧和槍机复进簧的內力。因为其中的第一个力比其余两个力之和大得多，所以机匣在此期間不發生位移。在火藥气体后效期，机槍机匣上还作用有槍口帽前壁上的火藥气体压力。此力的大小与因槍口帽的影响而作用于膛底上火藥气体压力大致相等。

因而，在槍机体加速开始之前的时間內机槍机匣不能向后运动，因为所有作用于其上的力的合力的方向都是向前，因此把它限制在前方位置。

第 2 段（$\xi=2.68\sim12$ мм）

在此运动段內槍机体加速机构工作。因此，在第 1 段內的作用力上还增加一向后作用于机匣上的加速机构反作用力。

为了說明机匣在此期間运动的可能性，可以利用下列方程式：

$$M_0\ddot{x}+M_c\ddot{\xi}+M_з\ddot{\gamma}=-\Pi_к$$

或

$$M_0\ddot{x}+(M_c+M_зk_з)\ddot{\xi}+M_з\frac{dk_з}{d\xi}\dot{\xi}^2=-\Pi_{к1}, \tag{23}$$

式中

M_0——整个机槍的質量；

$M_c, M_з$——槍管質量和槍机体質量；

x——机槍机匣的絕对座标；

ξ, γ——槍管和槍机体的相对座标（对于机匣而言）。

假設，在所討論的运动段的起点上的所有座标等于零并且机匣的可能位移忽略不計，则可認为，座标 ξ 和 γ 是槍管和槍机体的絕对座标。

利用圖解（圖 124）可以求出槍机体加速机构工作結束时槍管的加速度 $\ddot{\xi}$ 和速度 $\dot{\xi}$。$\frac{dk_з}{d\xi}$ 值根据圖解 $k_з=f(x_c)$（圖 85）求出；力 $\Pi_к=46$ кг。

将数值代入公式（23）中，可以确信，在槍机体加速机构工作整个时間內机匣的加速度 $\ddot{\xi}$ 是負的。

这就是說，在此段內，机匣向后运动是不可能的。机匣向前运动也是不可能的，因为定向滑板上的結构元件阻碍着它的运动。

第 3 段（$\xi=12\sim14.2$ мм）

在此运动段內，机头加速机构和彈鏈供彈机构工作。如前所述，我們仍假設，在此期間膛內的火藥气体压力停止了自己的作用。因此，在机槍机匣上作用有下列各力：向前的有緩冲器彈簧的內力 $\Pi_к$；向后的有复进簧的內力（槍管复进簧內力 Π_c 与槍机

复进簧内力 $П_{э}$）以及机头加速机构和彈鏈供彈机构的約束反作用力。

表示考虑上述各机构的工作和作用力的机匣、槍管和槍机运动的方程式如下●：

$$\ddot{x}=\frac{\frac{1}{2}\frac{M_{э}}{M_{\gamma}}\frac{dM_{\gamma}}{d\gamma}\dot{\gamma}^{2}+\left(\frac{1}{2}\frac{m}{M_{\xi}}\frac{dM_{\xi}}{d\xi}-\frac{dm}{d\xi}\right)\dot{\xi}^{2}+Q}{M_{0}-\frac{M_{э}^{2}}{M_{\gamma}}-\frac{mm_{\eta}}{M_{\xi}}};\qquad(24)$$

$$-\ddot{\gamma}=\frac{\frac{1}{2}\frac{dM_{\gamma}}{d\gamma}\dot{\gamma}^{2}+M_{э}\ddot{x}+Q_{п}}{M_{\gamma}};\qquad(25)$$

$$-\ddot{\xi}=\frac{\frac{1}{2}\frac{dM_{\xi}}{d\xi}\dot{\xi}^{2}+m_{\eta}\ddot{x}+П_{c}}{M_{\xi}};\qquad(26)$$

$$Q=П_{к}-R_{к}+П_{c}\frac{m}{M_{\xi}}+Q_{п}\frac{M_{э}}{M_{\gamma}};$$

此时

$$m=M_{c}+M_{л}k_{л};$$

$$m_{\eta}=M_{c}+M_{л}\frac{k_{л}}{\eta_{л}};$$

$$Q_{п}=П_{э}-R\frac{k_{п}}{\eta_{п}};$$

$$M_{\gamma}=M_{э}+M_{п}\frac{k_{п}^{2}}{\eta_{п}};$$

$$M_{\xi}=M_{c}+M_{л}\frac{k_{л}^{2}}{\eta_{л}},$$

式中

$M_{0};M_{c};M_{э};M_{л};M_{п}$——整个机槍、槍管、槍机体、机头和受彈器撥彈滑板的質量；

$П_{к}$——緩冲器彈簧內力；

$R_{к}$——机槍机匣定向滑板上的摩擦力；

$П_{c}$——槍管簧內力；

Q——槍机簡化力；

x——机匣座标；

$\gamma;\xi$——槍管和槍机相对于机匣的座标。

● 参看本書上册原文 223 頁。

公式（24，25，26）中所包含的質量的数值列于表中（單位是$кг.сек^2/м$）。

$M_к$	$M_б$	$M_в$	$M_ж$	$M_п$	$M_о$
1.123	0.191	0.0348	0.0227	0.034	1.35

公式（24，25，26）中所包含的諸变量列于圖 129 ～ 135 的圖解中。

用圖解解析法（圖 136， 137， 138）对微分方程式（24，25，26）进行积分。

利用这些圖中所示的圖解，求出槍管相对于机槍机匣移动 $\xi = 2.2$ 公厘时的运动特征数如下：

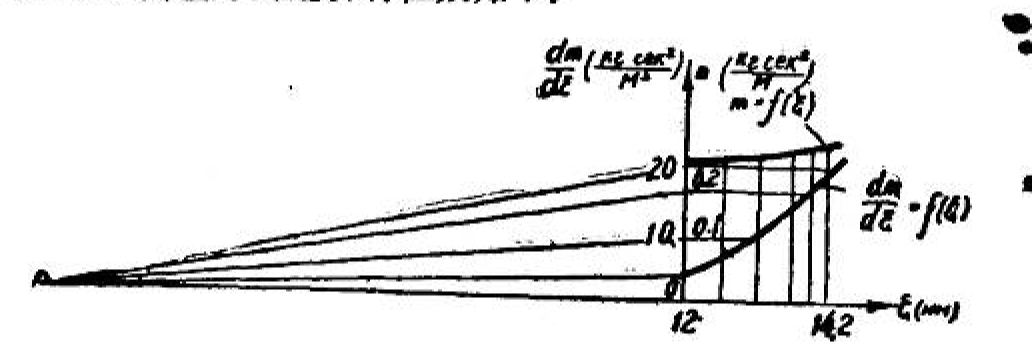


圖129　$m = f(\xi)$和 $\frac{dm}{d\xi} f(\xi)$圖解。

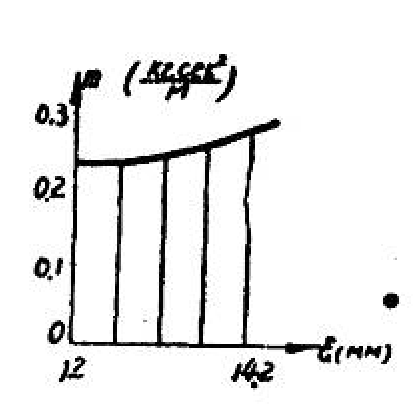


圖130　$m_\xi = f(\xi)$圖解。

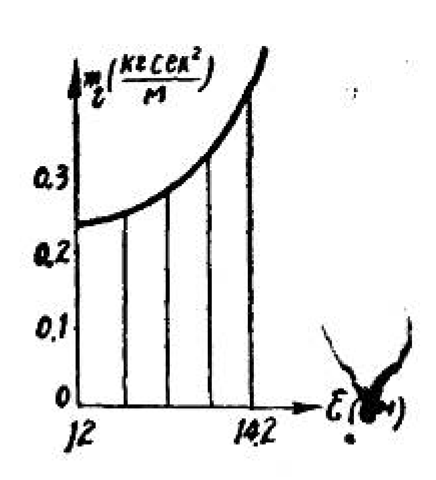


圖131　$m_\eta = f(\xi)$圖解。

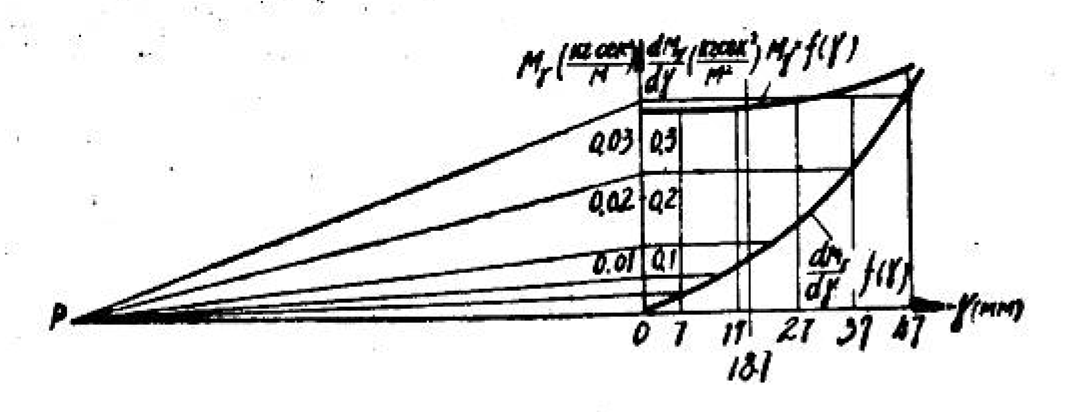


圖132 $M_\gamma = f(\gamma)$ 和 $\frac{dM_\gamma}{d_\gamma} = f(x)$ 圖解。

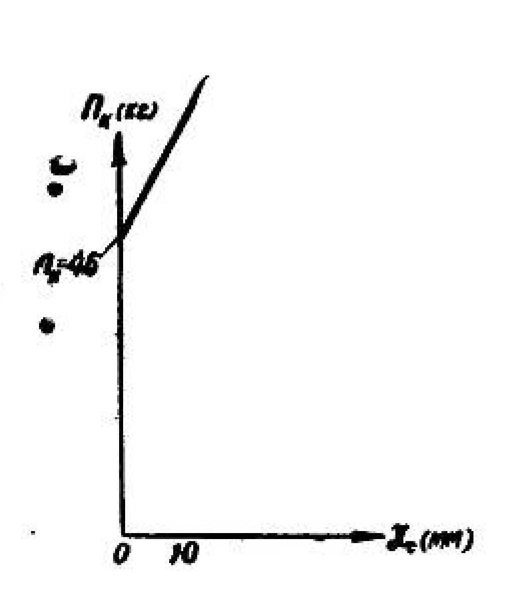


圖133 $П_к = f(x_к)$ 圖解。

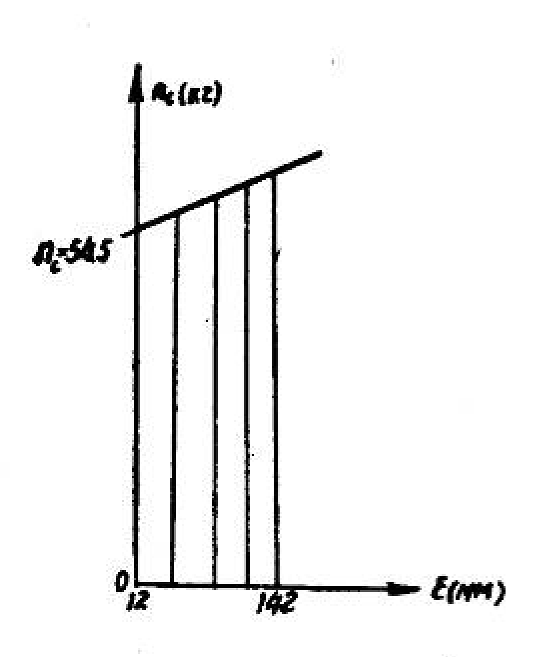


圖134 $П_c = f(\xi)$ 圖解。

$$x = 0.03\ мм;\quad \dot{x} = 0.18\ м/сек;\quad \dot{\xi} = 4.2\ м/сек;$$

$$\gamma = 18.7\ мм;\quad \dot{\gamma} = 9.6\ м/сек;\quad t = 0.00042\ сек。$$

第 4 段（$\xi = 14.2 \sim 21\ мм$）

在此段內彈鏈供彈机构繼續工作。槍机的簡化質量为一变量。　　在此期間自由移动。

机匣、槍管和槍机在此段內的运動可用前一段的方程式来表达（当 $M_п = 0$ 时）。

当 $M_п = 0$ 时，方程式（24，25，26）化成如下的形式：

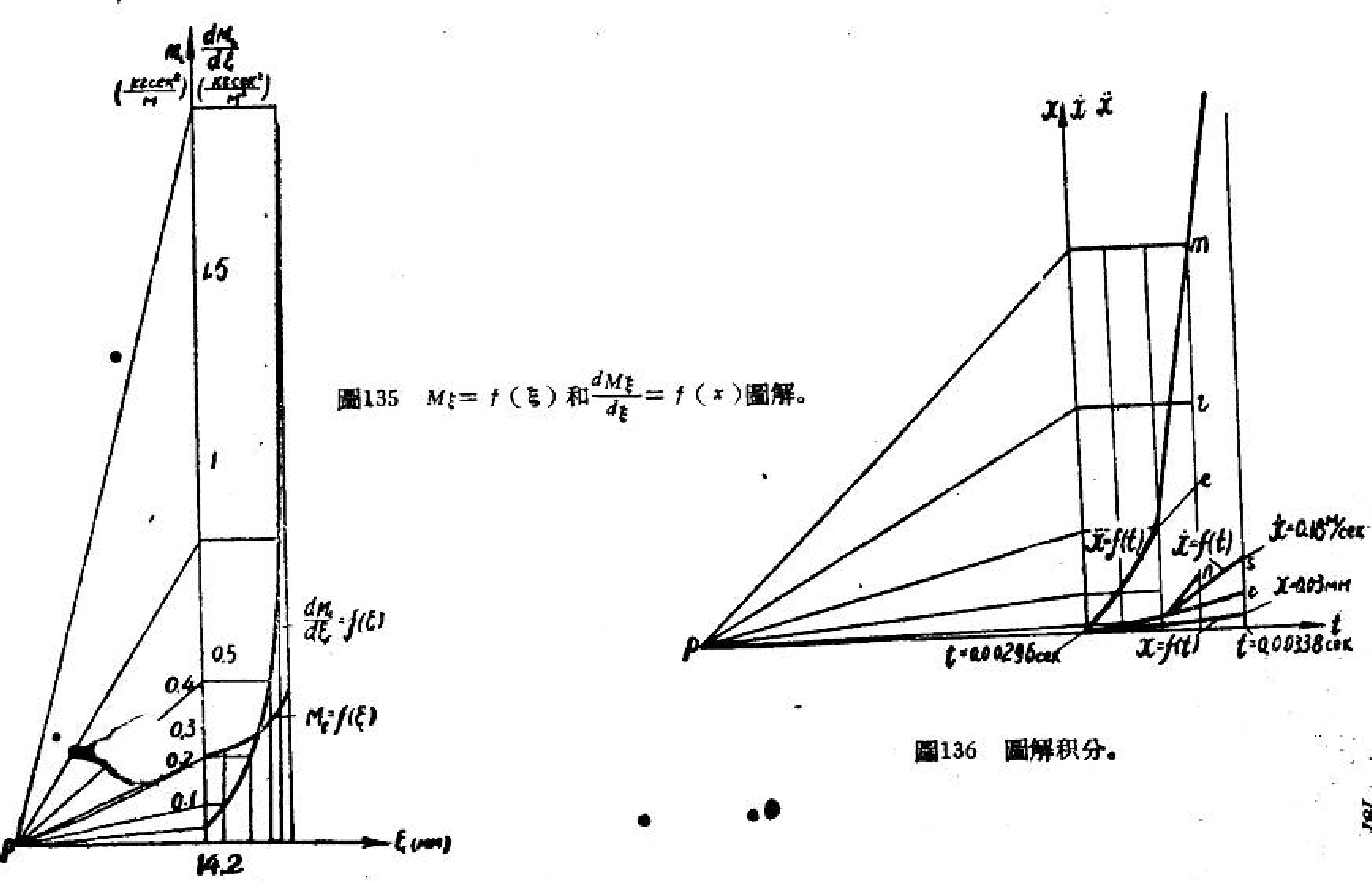


圖135　$M_\xi = f(\xi)$ 和 $\frac{dM_\xi}{d\xi} = f(x)$ 圖解。

圖136　圖解积分。

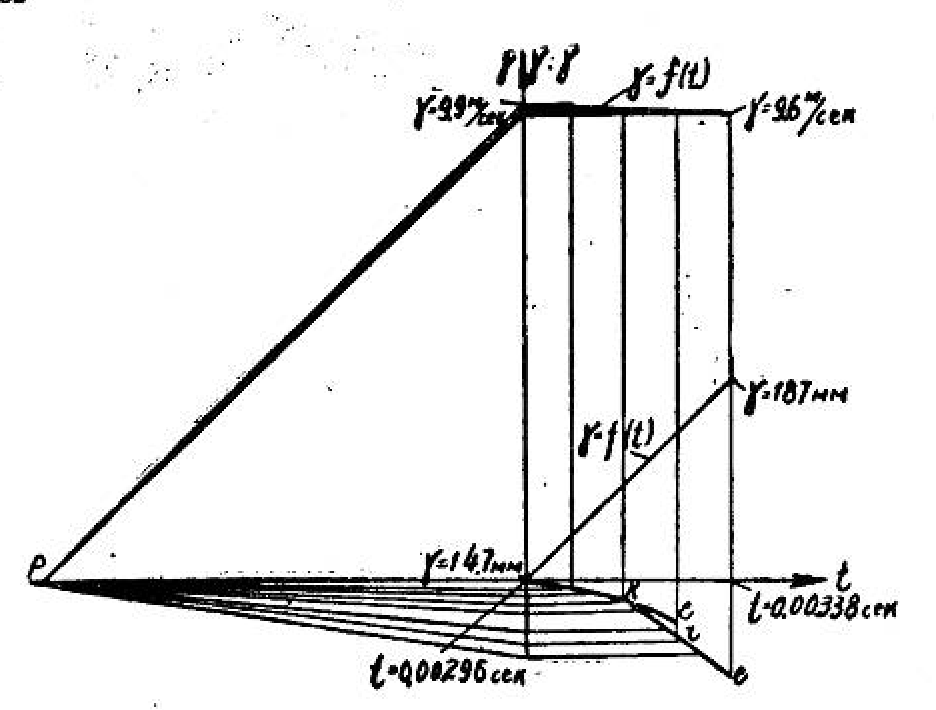


圖137　圖解积分。

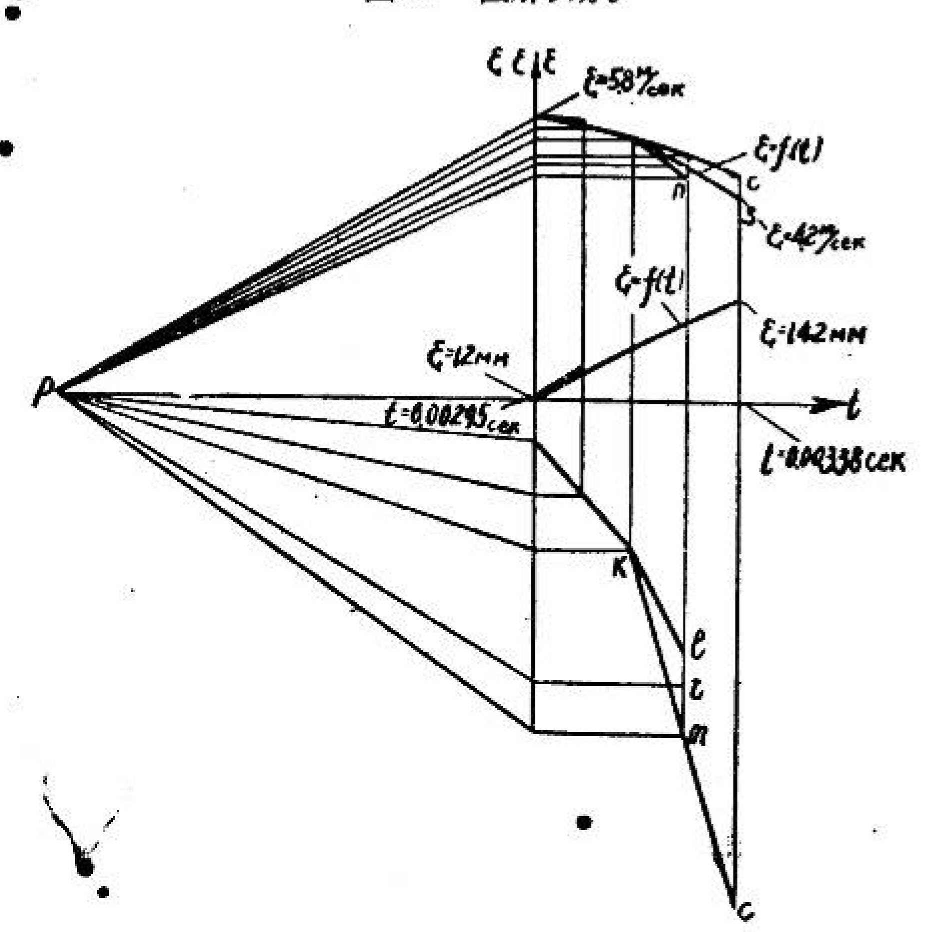


圖138　圖解积分。

$$\ddot{x}=\frac{\frac{1}{2}\frac{M_{э}}{M_{\gamma}}\frac{dM_{\gamma}}{d\gamma}\dot{\gamma}^{2}-П_{к}-R_{к}+П_{с}+\frac{M_{э}}{M_{\gamma}}Q_{п}}{M_{0}-\frac{M_{э}^{2}}{M_{\gamma}}-M_{с}};\tag{27}$$

$$-\ddot{\gamma}=\frac{\frac{1}{2}\frac{dM_{\gamma}}{d\gamma}\dot{\gamma}^{2}+M_{э}\ddot{x}+Q}{M_{\gamma}};\tag{28}$$

$$-\ddot{\xi}=\ddot{x}+\frac{П_{с}}{M_{с}}。\tag{29}$$

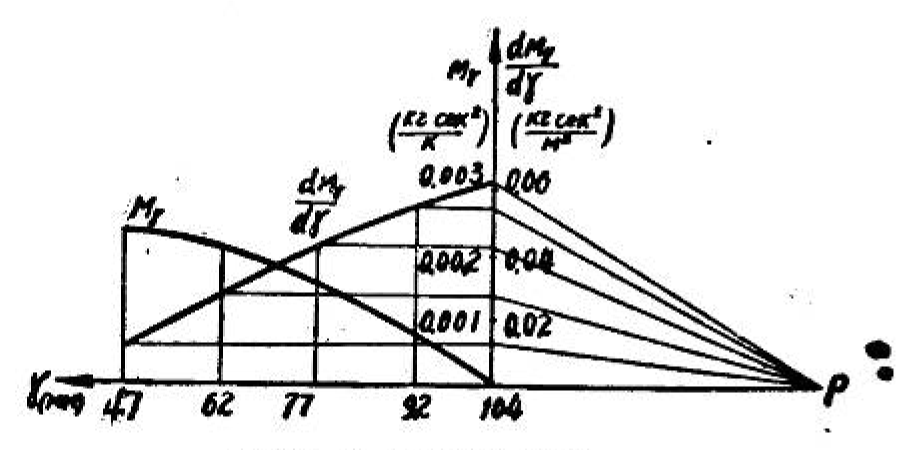


圖139　$M_{\gamma}=f(\gamma)$圖解。

$M_{\gamma}=f(\gamma)$和$\frac{dM_{\gamma}}{d\gamma}=f(\gamma)$圖解示于圖 132 中。利用近似圖解解析法来解这些方程式（圖 140，141，142）。

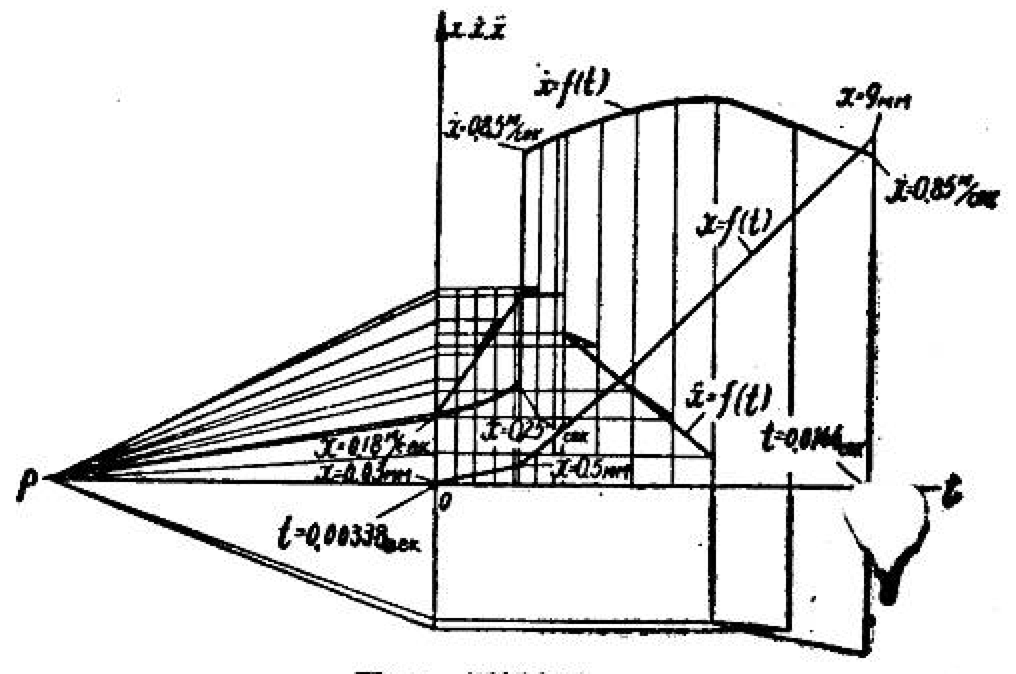


圖140　圖解积分。

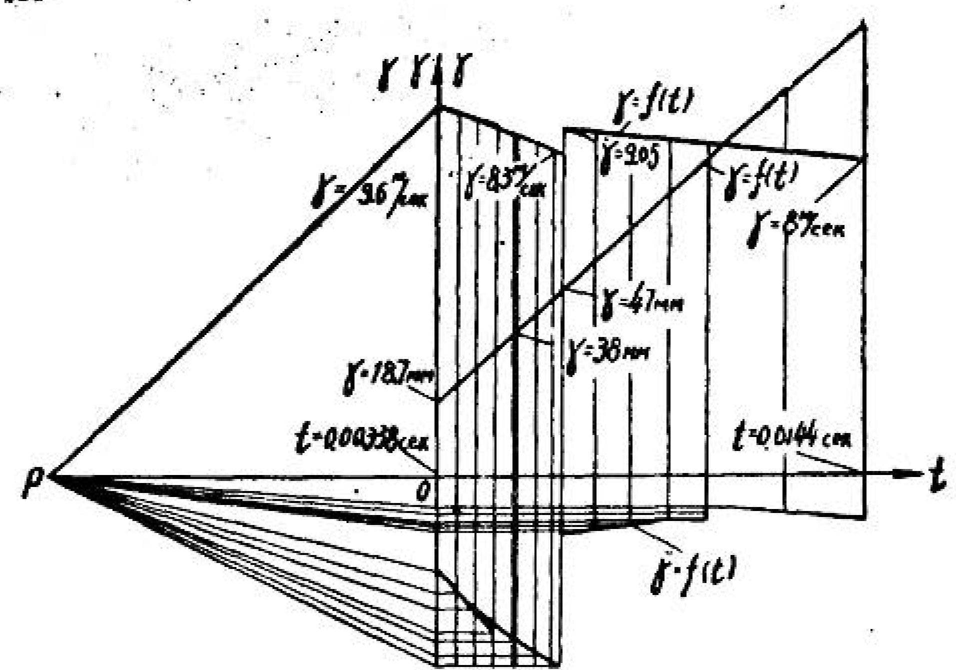


圖141　圖解积分。

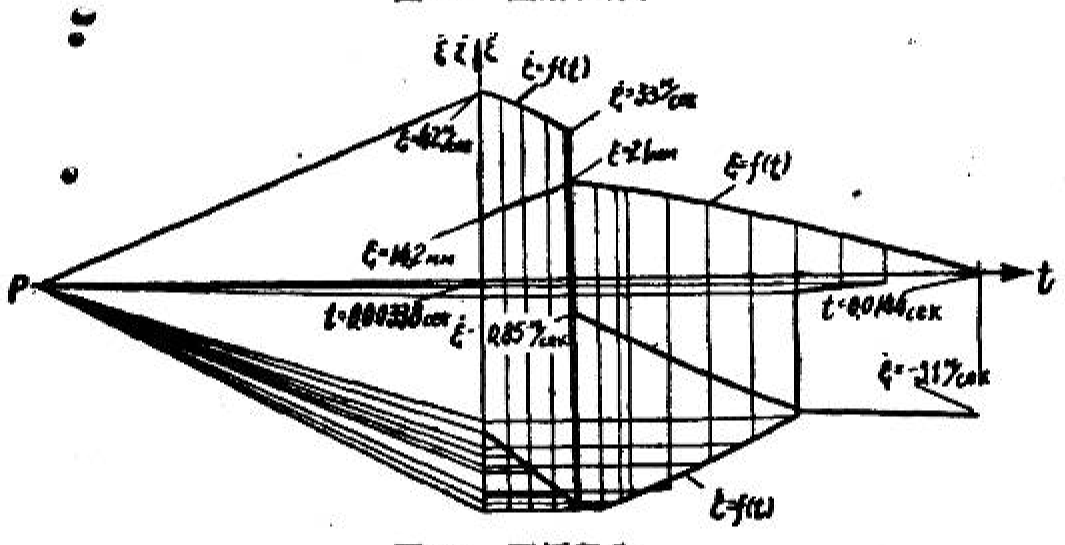


圖142　圖解积分。

求 $\Pi_к$；Π_c；$Q_п$ 变量时，可利用圖解（圖 133，134，119）。

此段結束时槍管与机槍机匣發生撞击。撞击的瞬間（參看圖 140 和 142）槍管和机匣的速度如下：

$$\dot{x}=0.25\ м/сек,\quad V_c=\dot{\xi}+\dot{x}=3.55\ м/сек。$$

如前取 $b=0.25$，求撞击后的槍管和机匣速度。

$$V'_c=V_c-\frac{(V_c-V_к)(1+b)}{1+\frac{M_c}{M_к}},\quad V'_к=V_к+\frac{(V_c-V_к)(1+b)}{1+\frac{M_к}{M_c}},$$

式中

M_c 和 $M_к$——槍管質量（0.191 $кг.сек^2/м$）和机匣質量（1.124 $кг.сек^2/м$）；

b——恢复系数。

将数値代入这些公式中，則得

$$V'_c = 0，V_к = 0.85\ м/сек。$$

因而，撞击后

$$\dot{x} = V'_к = 0.85\ м/сек，\quad \dot{\xi} = V'_c - \dot{x} = -0.85\ м/сек。$$

第5段（$\xi = 21 \sim 0\ мм$）

在此段內，槍管、机匣、槍机在自己的弹簧作用下移动。此段开始时弹鏈供弹机构継續工作。

这些部件的运动可用方程式（24，25，26）来表达，供弹机构工作結束后（当 $M_п = 0$ 和 $k_п = 0$ 时）这些方程式化成如下的形式：

$$\ddot{x} = \frac{П_c - П_к - R_к + Q_п}{M_к}; \tag{30}$$

$$-\ddot{\gamma} = \ddot{x} + \frac{Q_п}{M_з}; \tag{31}$$

$$-\ddot{\xi} = \ddot{x} + \frac{П_c}{M_c}。 \tag{32}$$

这些方程式（圖140、141、142）同样是利用圖解解析法解的。

在此运动段內机头与槍机体發生撞击。假設同前一样，撞击是在弹鏈供弹机构工作結束时發生的。

撞击后整个槍机的速度依下一公式求出：

$$V_з = \frac{V_л M_л + V_{ст} M_{ст}}{M_з} = 9.05\ м/сек,$$

式中

$M_{ст}; M_л; M_з$——槍机体、机头和整个槍机的質量；

$V_{ст}; V_л; V_з$——槍机体、机头和整个槍机的速度。

此段結束时（当 $\xi = 0$ 时）有

$$\dot{\xi}=-3.1\ м/сек;\quad \dot{x}=0.85\ м/сек;$$

$$\dot{\gamma}=8\ м/сек;\quad t=0.0144\ сек。$$

到达前方位置时槍管撞击机槍机匣突出部。刚性連接的机匣射击时所記录出的測速圖表明槍管在撞击后的跳动不大。因此取恢复系数 $b=0.1$。

撞击后，机匣和槍管的速度依下列公式求出：

$$V_{к}'=V_{к}+\frac{(V_{c}-V_{к})(1+b)}{1+\frac{M_{к}}{M_{c}}};$$

$$V_{c}'=V_{c}-\frac{(V_{c}-V_{к})(1+b)}{1+\frac{M_{c}}{M_{к}}},$$

式中

$$V_{к}=\dot{x}=0.85\ м/сек;$$

$$V_{c}=\dot{\xi}-\dot{x}=-2.25\ м/сек。$$

将数值代入这些公式中，則得

$$V_{к}'=0.36\ м/сек,\ V_{c}'=0.66\ м/сек。$$

因而，撞击后

$$\dot{x}=V_{к}'=0.36\ м/сек,\ \dot{\xi}=V_{c}'-\dot{x}=0.3\ м/сек。$$

其 余 各 段

机槍机匣、槍管和槍机在其余各段內的运动同样用圖解解析法（圖 143，144，145）并当所討論的构件仅在弹簧作用下移动时，利用下列方程式来研究：

$$\ddot{x}=\frac{П_{c}-П_{к}\mp R_{к}+П_{з}}{M_{к}};$$

$$-\ddot{\gamma}=\ddot{x}+\frac{П_{з}}{M_{з}};$$

$$-\ddot{\xi}=\ddot{x}+\frac{П_{c}}{M_{c}},$$

弹鏈供弹机构工作时間內（$\gamma=104{:}47\ мм$），利用下列方程式来研究：

$$\ddot{x}=\frac{\frac{1}{2}\frac{M_{з}}{M_{\gamma}}\frac{dM_{\gamma}}{d\gamma}\dot{\gamma}^{2}-П_{к}\mp R+П_{c}+\frac{M_{з}}{M_{\gamma}}Q}{M_{0}-\frac{M_{з}}{M_{\gamma}}-M_{c}};$$

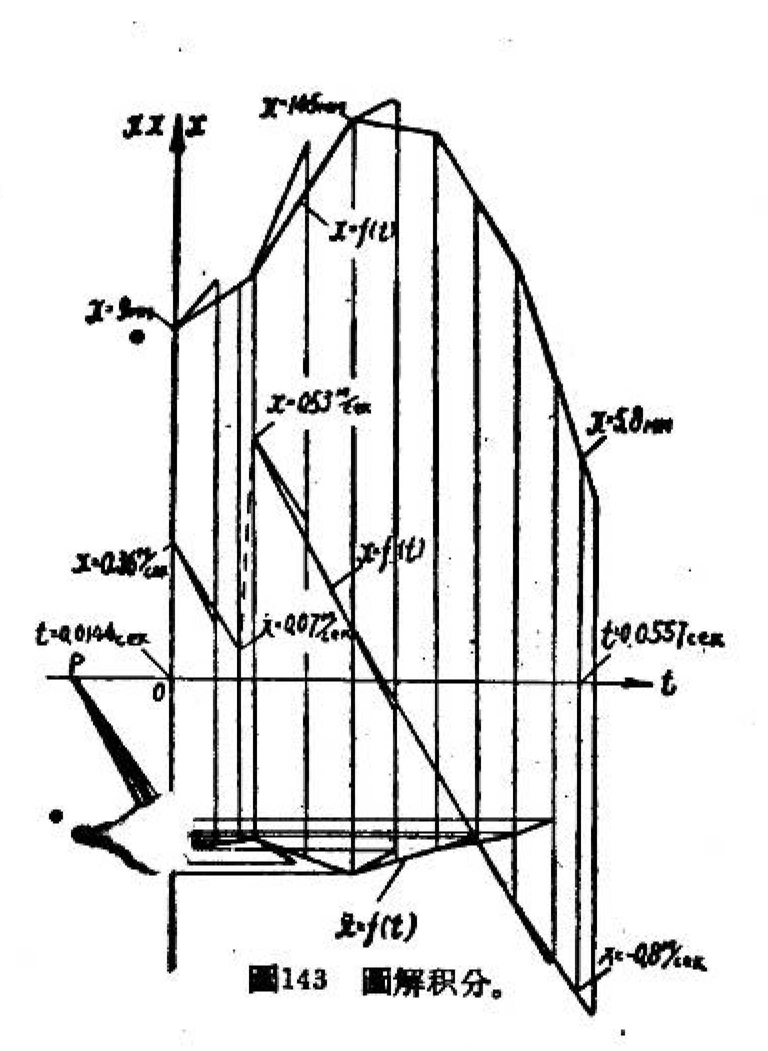


圖143　圖解积分。

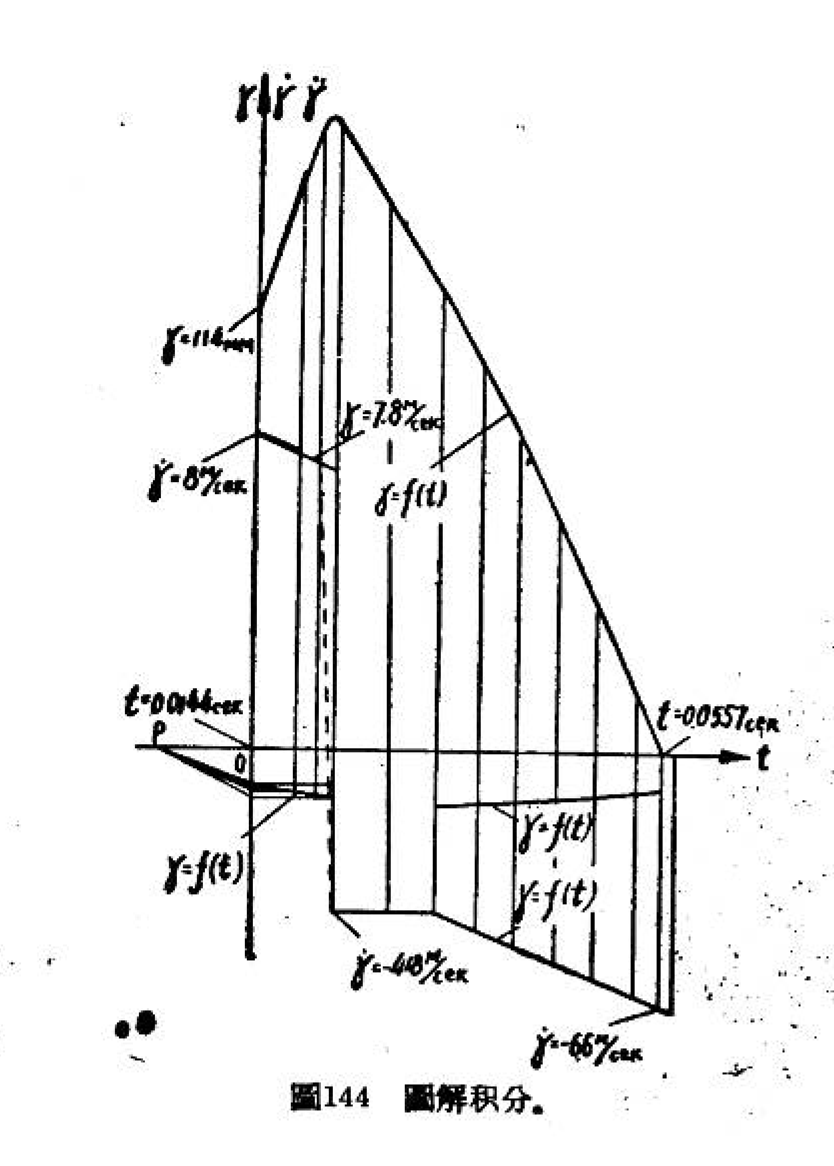


圖144　圖解积分。

$$-\gamma=\frac{\frac{1}{2}\frac{dM_\gamma}{d\gamma}\dot{\gamma}^2+M_э\ddot{x}+Q}{M_\gamma};$$

$$-\xi=\ddot{x}+\frac{П_c}{M_c}。$$

这些方程式中所包含的M_γ和$\frac{dM_\gamma}{d\gamma}$值如圖 132 的圖解所示，圖中$\frac{dM_\gamma}{d\gamma}$是利用圖解微分法求出的。

槍机与緩冲器撞击后所有构件的运动特征数可根据下列公式求出（当 $b=0.58$时）：

$$V_э'=V_э-\frac{(V_э-V_к)(1+b)}{1+\frac{M_э}{M_к}},$$

$$V_к'=V_к+\frac{(V_э-V_к)(1+b)}{1+\frac{M_к}{M_э}},$$

式中：

$V_к=\dot{x}=0.07\ м/сек$；$V_э=\dot{\gamma}+\dot{x}=7.87\ м/сек$；

$M_к=1.124\ кг.сек^2/м$；$M_э=0.0575\ м/сек$。

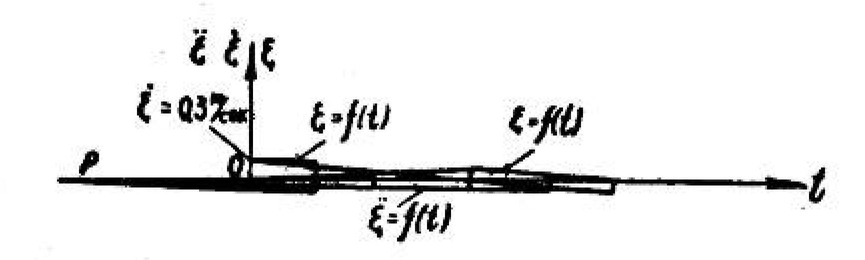


圖145　圖解积分。

进行計算之后，則得

$$V_э'=-3.55\ м/сек;\ V_к'=0.63\ м/сек。$$

圖 146 所示的是計算圖解

$$x=f(t);\ \xi+x=f(t);\ \gamma+x=f(t)。$$

根据計算所求出的自动机工作循环时間为 $t_ц=0.0557\ сек$。緩冲时所預期的机槍射击速度为：

$$n=\frac{60}{t_ц}=1080\ выстр/мин\ （發/分）。$$

根据試驗数据，在类似的緩冲条件下机槍射击速度为 $n =$ 1050 *выстр/мин*（發/分）。因为試驗数据与計算数据很相似，因此証明，原則上可以作一些小的假設以簡化計算。

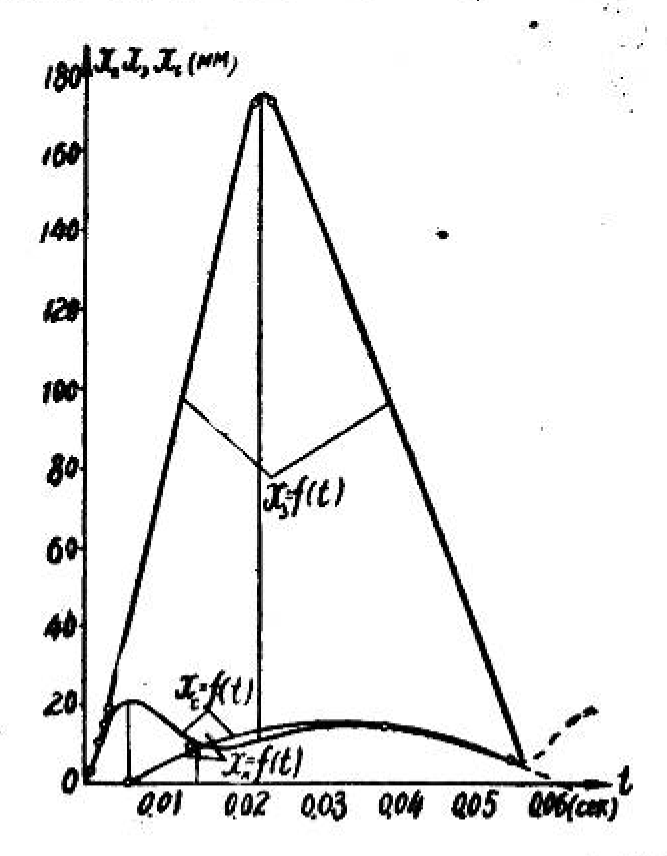


圖146　$x_з = f(t)$，$x_c = f(t)$，$x_к = f(t)$圖解。

